"Marais Mode d'emploi"

…une nouvelle collection pour les gestionnaires de zones humides littorales

Edités par le Forum des Marais Atlantiques avec le concours technique et financier des Agences de l'Eau Adour-Garonne et Loire-Bretagne, les guides « Marais Mode d'emploi » inaugurent une nouvelle collection de documents pratiques dédiés aux techniciens et opérateurs responsables de la gestion de zones humides littorales.

Il s'agit d'apporter une réponse pratique aux demandes des acteurs en marais qui souhaitent disposer de documents simples et ergonomiques pour faire face aux multiples et diverses interrogations posées par l'entretien et la gestion de ces milieux complexes.

Le choix du format de classeur de petite taille permet d'en extraire des fiches pour pouvoir facilement les manipuler et les actualiser. Le traitement de la couverture et du papier offre une résistance qui autorise de les emporter sur le terrain.

Nous souhaitons que cette nouvelle collection du Forum des Marais Atlantiques atteigne son objectif de traiter de manière pratique des questions et problématiques particulières aux marais et zones humides côtières, avec des solutions techniques qui leur sont spécifiques. Toutes vos remarques seront les bienvenues pour faire évoluer cet outil et l'ajuster aux préoccupations des acteurs de terrain.

Le comité éditorial





Directeur de la publication
Bernard Grasset (FMA)

Directeur de la collection "Marais Mode d'emploi"
Yves Le Maître (FMA)

Rédacteurs
Loïc Anras, hydrobiologiste (FMA)
Hughes des Touches (ADEV/Sud Vendée)*

Relecture
Alain Gallicé (ESTUARIUM)

Comité éditorial
Sophie Dagnaud (Conseil général de Vendée)
Freddy Hervochon (Agence de l'eau Loire-Bretagne)
Sylvie Jégo (Agence de l'eau Adour-Garonne)
Dominique Tesseyre (Agence de l'eau Adour-Garonne)
Laurent Vienne (Agence de l'eau Loire-Bretagne)

Maquette
Diagraphe

2007

Références pour citations :
Curage des canaux et fossés d'eau douce en Marais littoraux
Anras L., Des Touches H., Collection "Marais Mode d'emploi",
Ed. Forum des Marais Atlantiques,
76 pages.

Avec l'aimable contribution technique et scientifique de l'ADEV



Le Forum des Marais Atlantiques est un syndicat mixte présidé par Bernard Grasset,
maire de Rochefort et Conseiller Régional de la région Poitou-Charentes

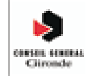
Directeur : Yves Le Maître

Avec le soutien des membres permanents du Forum des Marais Atlantiques :















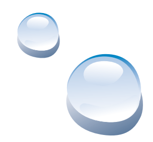

Préambule

Les marais, qu'ils soient ou non endigués, sont par essence des zones de comblement. En l'absence d'entretien hydraulique destiné à contrer ce phénomène, ils sont amenés à disparaître en quelques générations pour former d'autres paysages. Aujourd'hui, le recul constaté des zones humides face aux conquêtes des aménageurs conduit à prendre tout particulièrement soin des zones de marais qui demeurent fonctionnelles et qui rendent encore les services et remplissent les fonctions que l'on attend d'elles.

Ce guide vise à fournir un ensemble de préconisations sur un aspect essentiel de l'entretien des marais, à savoir l'enlèvement des sédiments. Un certain nombre de savoirs-faire sont transmis ici à partir de savoirs empiriques et de principes réfléchis et inscrits dans des cahiers des charges employés par des opérateurs soucieux de maintenir les capacités hydrauliques de leurs réseaux et la richesse biologique de leurs milieux.

Ce guide présente surtout des informations pratiques sur les systèmes de canaux et de fossés de petit et moyen calibre (1 à 10 m de section) qui constituent plus de 90 % du réseau des marais. Ils relèvent la plupart du temps du domaine privé et étaient autrefois entretenus par les particuliers qui conservent encore la responsabilité de leur entretien. L'évolution des moeurs, des usages et des techniques ont conduit à une réduction de cet entretien liée également aux coûts qu'il occasionne.

Dorénavant, les fonctions d'intérêt général remplies par ce réseau (rôle de tampon hydraulique, d'auto-épuration, etc.) ne sont plus aussi bien assurées. Souvent, ce n'est plus qu'au travers de financements publics et d'une programmation de travaux qui échappe en partie aux propriétaires privés que s'effectue l'entretien de certains marais laissés à l'abandon.

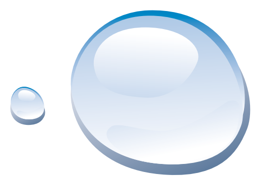


Dans tous les cas de figure, la prise en compte des dimensions écologiques des travaux devient une préoccupation de premier plan. Les maîtres d'ouvrage et les opérateurs techniques s'engagent à présent dans des procédures respectueuses de l'environnement.

Le plus souvent, les pratiques et techniques conseillées dans ce guide nécessitent une simple adaptation qui n'engendre aucun surcoût important. Il ne s'agit en effet pour l'essentiel que d'un changement de mentalité et de culture. Les modèles de nettoyage propre, le génie rectiligne et lisse et l'impression esthétique qu'ils laissent sont autant de faux amis dont il faut se détacher.

Ce document souhaite contribuer à une meilleure prise en charge de l'entretien du marais et du maintien d'un état de santé satisfaisant à la qualité biologique qu'il peut exprimer et aux fonctions et services qu'il peut remplir. Il est en effet nécessaire d'insister sur la nécessité de conjuguer entretien et gestion de l'eau adaptée à la préservation des zones humides. A défaut, ces préconisations n'ont qu'une portée extrêmement limitée.

Il convient de préciser ici que les auteurs de cet ouvrage ont essentiellement tiré leur expérience du marais poitevin argileux. Les marais tourbeux, sableux et/ou alluvionnaires (gravier, etc.) présentent des nuances hydrologiques et biologiques parfois de taille avec le secteur de référence. Les informations qui suivent doivent donc être adaptées aux particularités locales.



Sommaire

Introduction

Le présent document constitue un support technique pratique destiné aux opérateurs de terrain, aux concepteurs de plans de gestion, aux maîtres d'œuvre et aux maîtres d'ouvrage. Il doit permettre d'améliorer et d'optimiser l'impact des interventions sur les milieux aquatiques et les milieux connexes qui en dépendent.

Ce guide ne répond pas à tous les cas de figure, mais suppose que l'expertise mobilisée sache combiner les différentes modalités applicables sur un site ou un tronçon de canal ou de fossé, et les adapter aux particularités de celui-ci.

Il s'agit de méthodes basiques que l'on peut qualifier de génie écologique. Toutefois, il convient d'être prudent et de ne pas s'engager dans un choix technique sans disposer de connaissances complémentaires sur les enjeux du site. Il est souvent nécessaire de se poser un ensemble de questions, non seulement sur les causes à l'origine des érosions et des dépôts, mais également sur les processus locaux liés à la conformation du site, les pentes et la nature du sol, le régime des eaux, etc.

Il est tout aussi important de préciser que toute zone de fossés au sein d'un marais ne doit pas être nécessairement corrigée (rectification et reprise des éboulements) ou intégralement curée dans un même ensemble. La loi fait d'ailleurs prévaloir le principe de curage vieux fond-vieux bord que nous allons ici argumenter et moduler selon le cas.

Les âges différents des fossés d'une même entité participent à la diversité des habitats sous forme d'une mosaïque bénéfique à la biodiversité. Un marais ayant un cycle de rajeunissement régulier et uniforme dans l'espace limiterait l'expression d'une diversité biologique optimale.

Il convient donc de raisonner non seulement sur les éléments de physionomie et d'habitat stationnels dont traite principalement ce guide, mais plus globalement de réfléchir à l'échelle de l'unité cohérente de gestion hydraulique.

La planification des travaux à répartir dans le temps et dans l'espace est une procédure qui doit être conçue comme un préalable indispensable. La concertation doit présider à ces programmes de travaux dans la mesure où les marges de manœuvre pour les régimes hydrauliques et les niveaux d'eau sont des points-clefs. Par exemple, il est inutile de prendre toutes les précautions à l'entretien écologique des fossés sans adapter la gestion de l'eau pour réduire des marnages importants qui peuvent être les premiers facteurs de sa dégradation…

Les codes techniques doivent donc être impérativement couplés à des modalités de gestion adaptées, sous peine d'incohérence. Les opérateurs tels que les associations syndicales de marais[1] ou les syndicats hydrauliques[2] sont à même de proposer une coordination des efforts de gestion.

Le succès dépend des marges de modulation de la gestion de l'eau que se donnent les gestionnaires à l'échelle globale et locale de leurs marais.
Ce guide vise enfin à se familiariser avec des procédures de génie écologique et à aider la réflexion de tous les opérateurs publics et privés qui sont en charge de l'entretien des canaux et fossés en marais.

---

[1] *Association syndicale de marais : association de propriétaires fonciers en charge de la gestion hydraulique sur le réseau hydraulique collectif privé.*

[2] *Syndicat hydraulique : établissement public de coopération intercommunale dédié à la gestion hydraulique de cours d'eau publics et parfois privés.*



1 • Généralités

> 1.1 Les réseaux de canaux et fossés et les régimes hydrauliques

Près de 90% des marais doux aménagés tels que nous les connaissons sont issus des zones de débordement et de déambulation de bras ou d'annexes de cours d'eau ou de masses d'eau enclavées.

Le reste est constitué d'anciennes zones salicoles passées en gestion dulçaquicole il y a 4 à 5 décennies.

Leur endiguement vise à réserver ces espaces pour leur exploitation et à protéger des inondations les biens et les personnes. En l'absence d'endiguement qui n'est effectivement pas systématique (exemple des basses-vallées inondables), le réseau de fossés ainsi qu'une gestion des niveaux d'eau adaptée doivent permettre une exploitation agricole et un multi-usage. Les sols gorgés d'eau et leur imperméabilité relative impliquent un drainage de surface grâce à un réseau dense de fossés et de canaux.

Ces derniers se jettent alors dans des cours d'eau en zone continentale ou des étiers en zone côtière.

L'été, ce sont ces cours d'eau qui alimentent les marais pour maintenir leur niveau d'humectation en cas de déficit hydrique. Depuis longtemps, ces réseaux ont été organisés de manière hiérarchique :

- le réseau primaire, composé de l'ensemble des chenaux communs à plusieurs syndicats de marais ou structures équivalentes (gestion collective) ;
- le réseau secondaire, composé de chenaux ou de fossés communs à plusieurs unités élémentaires (compartiments hydrauliques) et internes à un syndicat de marais ou une structure équivalente ;
- le réseau tertiaire, composé de l'ensemble des chenaux et fossés internes à un compartiment hydraulique. Leur densité va de 80 à 300 mètres linéaires à l'hectare. Ces fossés constituent 80 à 95% du réseau hydrographique des marais. Ils constituent donc la réserve hydraulique utile de surface de celui-ci. Dans certains secteurs, on distingue au sein de ce réseau tertiaire privé des canaux d'intérêt hydraulique collectif.

Les marais endigués présentent une particularité fonctionnelle importante au niveau de leur régime hydraulique : c'est un régime alternant.

- de la fin de l'automne au début du printemps, les excédents hydriques (pluie, nappes) sont évacués pour protéger les activités en place sur le marais. Ils génèrent donc des flux importants vers l'aval. Durant cette période, certains secteurs de marais accueillent les crues nourricières pour les systèmes prairiaux en place. Cette fonction ralentit le transit de l'eau et contribue à son épuration. Le maintien d'une biodiversité intéressante est également tributaire de ces submersions temporaires ;
- de la fin du printemps au début de l'automne, les marais connaissent un fort taux d'évapo-transpiration* et nécessitent souvent une prise d'eau pour le soutien des niveaux à partir d'un cours d'eau. Ils sont alors clos et ne laissent quasiment plus s'échapper d'eau vers l'aval.

Cette alternance de fonctionnement induit deux comportements distincts :

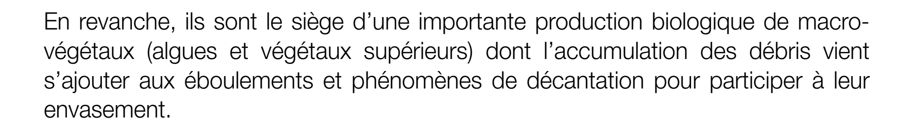
- l'hiver (d'octobre à mai), le marais est un système ouvert recevant de l'amont et produisant des ondes de crues. Les niveaux fluctuent amplement (localement près des ouvrages ou partout par moments) ;
- l'été (de juin à septembre), le marais est un système clos recevant parfois des eaux de l'amont. Les eaux sont ainsi maintenues à un niveau très stable. Le comportement de la masse d'eau s'apparente à celui d'un plan d'eau, plus ou moins fractionné, avec de très faibles pentes hydrauliques.

Entre ces deux phases, il se produit un régime transitoire de quelques semaines. Les marais non endigués connaissent un régime moins tranché, et conditionné par les relations entretenues avec les cours d'eau et les eaux souterraines.

Les fossés tertiaires jouent un rôle prépondérant dans le stockage de l'eau, tandis que les réseau primaires et secondaires les relient et charrient les eaux de renouvellement.

Les temps de résidence sont faibles dans le primaire et le secondaire, et les marnages importants. Les courants peuvent être élevés par périodes, à proximité des ouvrages ou lorsque les remembrements ont réduit leur densité à l'hectare, augmentant ainsi les débits à charrier dans un volume et un nombre réduits de chenaux. Ces réseaux simplifiés sont donc plus sensibles à l'érosion. Mais les phases successives de régimes courant et stagnant, avec des eaux souvent chargées en matières en suspension, en font des zones privilégiées de sédimentation rapide : de 1 à 5 cm par an, ce qui est important.

Les temps de résidence de l'eau sont, au contraire, accrus dans le réseau tertiaire. Avec l'augmentation de l'éloignement et le nombre de connexions les séparant du réseau primaire et secondaire, ces fossés connaissent un confinement croissant. Leur marnage est aussi plus faible puisque les vitesses d'écoulement sont lentes.



En revanche, ils sont le siège d'une importante production biologique de macro-végétaux (algues et végétaux supérieurs) dont l'accumulation des débris vient s'ajouter aux éboulements et phénomènes de décantation pour participer à leur envasement.

> 1.2 Les habitats



Source : ADEV

Fig. 1 Marais poitevin / Inondation hivernale partielle

Les marais peuvent receler une importante diversité d'habitats, source de biodiversité. Une codification a été élaborée au niveau européen pour en rendre compte. Elle s'appuie pour l'essentiel sur des groupements végétaux hélophytes (partie supérieure aérienne), mais reste souvent en deçà de la richesse observée effectivement, notamment dans les milieux aquatiques, pour laquelle cette nomenclature demeure rudimentaire. La codification présentée en annexe 1 correspond aux habitats rencontrés dans les marais littoraux atlantiques. Elle est extraite d'une codification plus complète pour toutes les zones humides.

> 1.3 La végétation aquatique et rivulaire

Toutefois, les plantes aquatiques ne jouent pas seulement un rôle d'habitat : en tant que producteurs primaires, elles sont la base des système écologiques et participent pleinement à la richesse patrimoniale des zones humides.

Les données écologiques qui suivent s'appuient sur un travail bibliographique réalisé dans le cadre du programme Life/Norspa Baie de Bourgneuf (Dutartre et Moreau, 1998) ainsi que sur les observations réalisées par l'A.D.E.V.

1.3.1 La végétation rivulaire

(a) Richesse spécifique

La ceinture végétale des berges est composée de plantes qui recherchent ou qui supportent l'humidité. La végétation émergeante s'enracinant dans le milieu aquatique et sur les berges très humides correspond aux hélophytes*, plantes qui poussent les pieds dans l'eau et «la tête au soleil».



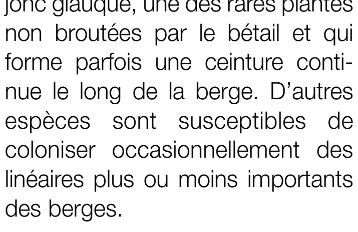
Les hélophytes sont le reflet de la nature géologique et pédologique et de l'état des berges, de la gestion hydraulique (variation du niveau de l'eau), des usages de chaque parcelle, de la topographie de la berge souvent liée aux pratiques de curage mises en œuvre.

En tant que zone humide, les fossés accueillent, au même titre que les bordures d'étang, une variété importante d'hélophytes. Sur les marais poitevin (ouvert) et breton, il est possible de rencontrer une quinzaine d'espèces le long des berges (cf. annexe 2).

En marais ouvert ou semi-bocager, l'on rencontre principalement et par ordre de fréquence : le jonc glauque (Juncus inflexus), la grande glycérie (Glyceria maxima), la laîche des rives (Carex riparia), le roseau commun (Phragmites australis), l'iris faux-acore (Iris pseudacorus), la massette (Typha angustifolia et Typha latifolia), le jonc fleuri (Butomus umbellatus), plus rarement le jonc des chaisiers (Scirpus lacustris), le rubanier rameux (Sparganium erectum), etc...



Fig.2 - Jonc fleuri



Lorsque les berges sont pâturées, il ne subsiste bien souvent que le jonc glauque, une des rares plantes non broutées par le bétail et qui forme parfois une ceinture continue le long de la berge. D'autres espèces sont susceptibles de coloniser occasionnellement des linéaires plus ou moins importants des berges.

La végétation herbacée et certaines adventices* des cultures se développent plus en retrait sur les berges. Il s'agit de graminées, notamment le long des prairies, de plantes plus banales telles que l'Epilobe hirsute (Epilobium hirsutus) ou le Picris fausse-épervière (Picris echioides) le long des cultures (lorsque les traitements ne suppriment pas la totalité de la végétation entre la culture et le fossé).

En marais bocager, la nature du sol, plus riche en matière organique, correspond à un cortège floristique différent de celui du marais ouvert. On trouve notamment le long des berges la valériane officinale (Valeriana officinalis), la reine des prés (Ulmaria fillipendula), la laiche raide (Carex elata), la laiche faux-souchet (Carex pseudocyperus), la laiche des rives (Carex riparia), le jonc à fleurs obtuse (Juncus subnodulosus), la grande glycérie (Glyceria maxima), la baldingère (Phalaris arundinacea), le roseau (Phragmites australis), les massettes (Typha angustifolia et Typha latifolia), etc… Là encore, des espèces occasionnelles peuvent être rencontrées.



Lorsque les rives sont très ombragées du fait de la présence d'une ripisylve dense, il n'y a pas de ceinture d'hélophytes et la colonisation végétale se réduit progressivement en fonction de l'intensité de l'ombrage.

(b) Répartition et actes de gestion

La répartition des plantes hélophytes le long des berges est tout d'abord fonction de la pente. Une forte pente limite en effet la surface favorable au développement des hélophytes et ne convient pas à l'écologie de toutes leurs espèces. Le roseau et la massette supportent mieux ce type de milieu que les autres. La répartition des hélophytes est par ailleurs largement tributaire de l'occupation du sol et des usages appliqués sur les rives.

- Les fossés accessibles aux animaux le long des prairies pâturées régulièrement sont en général faiblement pourvus en hélophytes. Seul le jonc glauque se maintient et arrive à former des bordures continues le long des berges ; les autres espèces sont broutées et disparaissent à terme. La disposition d'une clôture permettrait le développement d'un cortège plus diversifié et plus dense d'hélophytes. Une clôture permet aussi de limiter l'affaissement des berges et la vitesse de comblement du fossé. Lorsque l'accès à la berge est limité par une clôture ou par la présence d'approches* fonctionnelles, les ceintures d'hélophytes sont variées et bien développées, à condition que cette clôture soit suffisamment éloignée de la berge pour que le piétinement du bétail n'exerce plus de pression sur les sols riverains.



Source : Forum des Marais Atlantiques

Fig.3 Parcelle en pâture, dont seul le jonc orne les bordures

A contrario, de larges zones de marais pâturées sont dépourvue de clôtures. C'est le canal ou le fossé qui fait office de barrières pour le bétail. Cette contention est largement tributaire d'un bon niveau d'eau dans le réseau, sur l'ensemble du cycle annuel. Ce niveau conditionne également la bonne stabilité du profil de l'émissaire. La pose de clôture n'est donc pas à systématiser, mais son installation est à apprécier au cas par cas.


Source : Forum des Marais Atlantiques

Fig.4 Bord de parcelle cultivée dénudé par les traitements herbicides et colonisé par les liserons

- Les fossés bordés de terres cultivées peuvent présenter encore des ceintures d'hélophytes et on trouvera ça et là des touffes d'iris faux-acore, la laîche des rives ou le roseau. Mais, le plus souvent, le long des cultures de maïs ou de tournesol notamment, la berge est à nu, du pied de la culture jusqu'au niveau de l'eau. Ces bordures ainsi dénudées se voient parfois colonisées par le liseron.

1.3.2 La végétation aquatique

Les hydrophytes*, plantes immergées ou à feuilles flottant en surface, sont évidemment beaucoup plus sensibles à la présence d'eau que les précédentes plantes : leur extension est également liée à la nature des sédiments (minéraux ou organiques), la qualité physico-chimique des eaux, l'importance du colmatage, le renouvellement des eaux dans le fossé, la périodicité du curage, etc.

Certaines de ces espèces sont également capables de résister à l'assèchement des fossés et de se réinstaller au retour des eaux, soit par la germination des graines restées dans les sédiments (ces stocks ou «banques» de graines expliquent la relative permanence de diverses espèces dans ce type de milieu), soit à partir de formes de résistance spécifiquement adaptées à cet assèchement par la réduction de la taille des feuilles ou la modification des tissus en contact avec l'air permettant la diminution des pertes d'eau.

(a) Richesse spécifique

Parmi les espèces immergées régulièrement rencontrées dans les réseaux de fossés se trouvent les cératophylles ou cornifles (Ceratophyllum demersum est très fréquente), l'élodée du Canada (Elodea canadensis), le myriophylle en épis (Myriophyllum spicatum) ; d'autres, moins fréquentes, sont par exemple des espèces de potamots tels que le potamot pectiné (Potamogeton pectinatus) ou le potamot crispé (P. crispus), des callitriches, dont Callitriche stagnalis, ou des renoncules aquatiques (Ranunculus spp).

Des petites plantes flottantes comme les lentilles d'eau (Lemna spp), comportant au moins 4 espèces dans les marais, ou la petite fougère aquatique Azolla filliculoides sont capables de recouvrir totalement certaines portions de fossés stagnants. Ce dernier type de plante ne cause pas de problème particulier vis-à-vis des pratiques de curage, sauf dans leur accumulation dans certains sites.



(b) Dynamique de peuplement

La végétation du fossé et de ses berges constitue un descripteur biologique précieux, à la fois reflet des caractéristiques morphologiques de la station et de la qualité du secteur dans lequel elle s'insère et élément très structurant des conditions de vie des animaux présents.

La fluctuation de la diversité des hydrophytes au cours de la saison s'explique par les exigences écologiques des espèces au regard des conditions offertes par chaque fossé. Plus les conditions sont extrêmes, moins il y a d'espèces. Des études pluridisciplinaires sur le marais breton et le marais poitevin (Baudet et coll., 1999) apportent les éléments suivants :

- **fossé récemment curé :** peuplements nettement dominés par les cératophylles (marais breton) ou l'élodée (marais poitevin), biovolume généralement faible pour les curages datant de moins d'un an, augmentant avec l'âge du fossé. D'autres observations, réalisées par exemple dans le marais breton, montraient que ce biovolume atteint en quelques années une valeur maximale correspondant à l'occupation totale de la tranche d'eau par les herbiers d'hydrophytes.

- **fossé ancien et asséchant périodiquement (cas du marais poitevin) :** présence printanière de renoncules aquatiques et de callitriches en grande quantité et peu d'hydrophytes en été. Ce type de fossé constitue une classe très particulière. Il est en voie d'atterrissement et sa végétation va évoluer peu à peu vers un peuplement végétal de type «baisse[3]».

- **entre ces deux extrêmes**, il est possible de rencontrer une grande variété de situations que le faible nombre de données actuellement disponibles ne permet pas d'analyser et de typer.

D'autre part, cette étude montre qu'à l'échelle du fossé, la diversité maximale apparaît pour des fossés assez récents (1 à 5 ans après curage). A l'échelle d'un secteur par contre, la diversité maximale passe par la présence de toute la gamme d'état de colmatage des fossés, dont des fossés très colmatés avec des espèces rares typiques de ces milieux.

Les petites plantes flottantes sont capables de se réinstaller très rapidement après les opérations de curage, dans la mesure où les conditions climatiques du moment leur sont favorables, et elles peuvent, dans une certaine mesure, ralentir le développement des espèces immergées par l'ombrage qu'elles créent dans les eaux. Un faible renouvellement des eaux est également un facteur favorable à leur extension.

[3] *Baisse : fond des dépressions humides issues des anciens marais salants en Charente-Maritime ou des dernières intrusions maritimes dans le marais poitevin.*

Il est à noter que la préservation pure et simple de telles stations due à l'absence d'entretien se traduira par leur disparition par atterrissement. **C'est donc plus par une organisation des travaux d'entretien à l'échelle d'un secteur garantissant le maintien durable à tout moment d'une diversité d'états de colmatage que doit passer la prise en compte de cette diversité végétale.**

ATTENTION



Source : Forum des Marais Atlantiques

Fig.5. Canal bordé d'élophytes aux fonctions paysagères, biologiques et de stabilisation des berges (marais de Brouage, 17).

Un seul type évident de peuplement végétal peut être mis en avant. Il s'agit des vieux fossés très colmatés à phragmites qui présentent à peu près toujours les mêmes caractéristiques : absence quasi-totale d'hydrophytes fixées ou seulement une espèce (utriculaire), faible présence du poisson à l'exception de l'anguille et une avifaune nicheuse potentielle particulièrement abondante et à forte valeur patrimoniale. Parce qu'elle assure le maintien des éléments importants du paysage, facteurs de stabilisation des berges et garants d'une absence d'élargissement du fossé (et donc de perte progressive des surfaces terrestres attenantes), cette végétation de berge apparaît importante à respecter et à conserver autant que faire se peut lors des travaux d'entretien.

Préconisé en Grande-Bretagne lors d'actions similaires d'entretien, cet objectif suppose sans doute une sensibilisation des divers acteurs (exploitants, propriétaires, conducteurs de pelle, etc.) et la mise au point d'outils adaptés (formes des godets, godets décalés par rapport au bras de la pelle, etc.).

> 1.4 La vie animale

Parmi les espèces concernées par le curage, il faut distinguer celles qui sont strictement inféodées à l'eau de celles qui la fréquentent durant une partie de leur cycle de vie ou de celles pour lesquelles cet habitat est fréquenté plus ou moins couramment.

1.4.1 Les poissons

Depuis quelques décennies, l'appauvrissement notable de la faune piscicole des marais, tant en diversité qu'en biomasse, est un fait reconnu par beaucoup d'acteurs des marais. Malgré l'importance du réseau de fossés et de canaux (20 à 25 000 km), la surveillance régulière de la faune piscicole n'est cependant mise en œuvre que dans quelques rares sites et les données objectives sur cette évolution sont donc peu nombreuses, contrairement à la majorité des cours d'eau du territoire national.


Source : Ph.Garguil

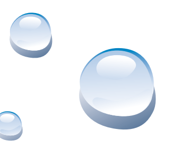
Fig.6. Anguille

Parmi les poissons des marais, peu font partie des espèces patrimoniales ou protégées. Cependant, certaines espèces doivent faire l'objet d'une attention particulière comme l'anguille (Anguilla anguilla) (sur tout le territoire) ou la bouvière (Rhodeus amarus, espèce d'intérêt communautaire), qui sont des espèces rares ou en danger.

Si l'anguille peut trouver des habitats propices à sa croissance continentale dans les marais, d'autres espèces migratrices sont parfois observées en transit dans ces zones. **Dans des marais traversés par un axe fluvial majeur débouchant sur un bassin versant significatif, certaines espèces migratrices cherchent en effet à regagner les zones amont et doivent faire l'objet d'attentions particulières (libre circulation, pêche, etc.).**

- la **lamproie marine** (Petromizon marinus) et la **lamproie fluviatile** (Lampetra fluviatilis) qui remontent les rivières (Sèvre, Vendée, Jeune Autize) pour frayer après quelques années de croissance en mer ;
- la **grande alose** (Alosa alosa), qui est bien présente dans le marais poitevin et dont la remontée des rivières pour atteindre ses sites de ponte semble être gênée par la présence des barrages ;
- l'**alose feinte** (Alosa fallax), qui fréquente les grands estuaires français atlantiques, et qui est notablement présente sur la Charente et probablement ses annexes en aval.



Les comités de gestion des poissons migrateurs (voir liste dans le décret amphihalins) proposent dans le cadre des plans de gestion des mesures particulières à la gestion de ces espèces migratrices.

Parmi les espèces d'eau douce d'intérêt patrimonial, l'on rencontre :

- la l**amproie de planère** (Lampetra planerii), qui semble n'être connue que dans une seule localité du le marais poitevin, à savoir la partie supérieure de l'Autize (Comm. Pers. Conseil Supérieur de la Pêche de Vendée) ;
- le **brochet** (Esox lucius) est également une espèce patrimoniale dont la reproduction en marais peut garantir le maintien d'un stock et l'approvisionnement des cours d'eau, moyennant des connexions entre ces systèmes. La modification dans de nombreuses zones de la gestion des niveaux d'eau l'a souvent mis en péril.

Globalement, 25 à 30 espèces ont été observées dans l'ensemble des marais doux du littoral atlantique. Toutefois, des différences significatives apparaissent selon les secteurs géographiques. Cette différence dans les diversités spécifiques est en grande partie liée aux caractéristiques des habitats proposés dans chaque zone en termes de qualité d'eau, de mouvements d'eau et de connexité entre les habitats présents.

Le cycle de développement des espèces nécessite en effet l'utilisation de plusieurs milieux complémentaires jouant chacun un rôle particulier (frayère, nurserie, abris, etc.). De plus, selon les espèces, le territoire utilisé sera plus ou moins vaste et les éventuels problèmes de connexité entre habitats auront donc plus ou moins d'impact. Il apparaît ainsi que la majorité des espèces de grande taille préfère utiliser les réseaux principaux (primaire/secondaire) à forte hauteur d'eau, alors que le réseau tertiaire joue un rôle important de frayère et de nurserie.

Les plans de curage et d'aménagement raisonnés de ces réseaux doivent permettre de maintenir à tout moment, à l'échelle d'un secteur de marais, un linéaire de fossés pouvant servir d'habitat permanent à de nombreuses espèces car correspondant à des milieux peu confinés et à de fortes hauteurs d'eau. Cette retombée positive a notamment été observée pour la bouvière en Marais breton (Carpentier et col., 2003). Ils doivent également assurer la présence de milieux complémentaires, accessibles, plus ou moins colmatés, voire temporaires, au sein du réseau tertiaire pour assurer les différentes parties du cycle de vie des différentes espèces de poissons (Rigaud et coll., 1996). La notion de **mosaïque de milieux** reprend à nouveau toute son importance.

Au niveau des réseaux principaux, une attention particulière doit être portée au respect de la végétation des berges et aux connexions avec les tributaires, ces deux éléments devant en effet permettre à l'ichtyofaune présente de trouver aisément des zones d'abri, d'alimentation ou de ponte lorsque le besoin s'en fait sentir.

Les poissons sont gênés par une trop forte densité de plantes qui peut nuire à leurs déplacements ou être la cause de manques en oxygène, notamment en fin de nuit ou lors des phases de dégénérescence de ces herbiers. En revanche, leur présence en quantité modérée leur garantit abri, support de ponte pour les espèces phytophiles, ressource alimentaire, soit de manière directe pour les herbivores, soit de manière indirecte (diatomées, insectes, mollusques, etc. présents sur ces végétaux). La technique du réensemencement du milieu par des plantes aquatiques indigènes doit donc être facilitée autant que faire se peut.

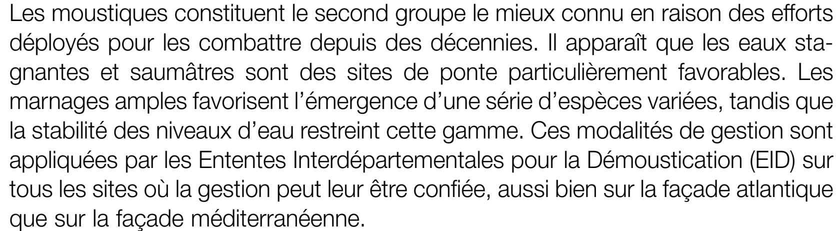
Dans des secteurs à réseaux denses (fossés courts), le maintien à l'échelle du secteur de la gamme d'états de colmatage déjà évoquée permettra ce réensemencement de manière naturelle, les vieux fossés proches faisant office de sources de boutures ou de graines. Dans des secteurs à maillage plus lâche (fossés longs), on pourra faire appel à différentes techniques permettant de faciliter cette recolonisation végétale («oubli» régulier d'une largeur de godet, remise de place en place en fin de chantier des couches superficielles des sédiments extraits, …), ce type d'actions étant régulièrement mis en œuvre, notamment en Grande-Bretagne (Newbold et al, 1989).

1.4.2 Les mollusques

Une trentaine d'espèces de mollusques gastéropodes (Baudet et coll., 1999) sont également présents dans les marais. Leur sensibilité au curage est variable et la recolonisation des fossés est surtout inféodée à la réapparition des supports et substrats que constituent les plantes pour la plupart de ces organismes.

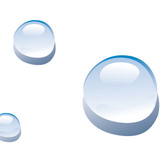
1.4.3 Les insectes

Parmi les espèces réalisant une partie du cycle de vie dans l'eau, on rencontre les odonates (libellules), dont les larves aquatiques sont utilisées comme indicatrices des caractéristiques du milieu observé. Près de 40 espèces ont été dénombrées en marais. Le fossé peut être utilisé comme zone de ponte et de croissance des larves, mais également comme zone de chasse pour les adultes.



Les moustiques constituent le second groupe le mieux connu en raison des efforts déployés pour les combattre depuis des décennies. Il apparaît que les eaux stagnantes et saumâtres sont des sites de ponte particulièrement favorables. Les marnages amples favorisent l'émergence d'une série d'espèces variées, tandis que la stabilité des niveaux d'eau restreint cette gamme. Ces modalités de gestion sont appliquées par les Ententes Interdépartementales pour la Démoustication (EID) sur tous les sites où la gestion peut leur être confiée, aussi bien sur la façade atlantique que sur la façade méditerranéenne.
Ces modalités ne sont toutefois pas forcément toujours compatibles avec une biodiversité aquatique optimale.





La famille des *Chironomidae* occupe une place importante dans le bas de la chaîne alimentaire et donc dans le cycle de développement d'autres groupes faunistiques. Ce groupe, étudié par Baudon (1995) sur des marais charentais, comprend environ une soixantaine d'espèces. Les larves de chironomes vivent dans la vase, à la surface du sédiment et des plantes aquatiques.

Le curage a donc un impact important puisque cette opération entraîne un retrait direct des individus (environ 70%) du milieu. Toutefois la richesse spécifique et les abondances se reconstituent rapidement après le curage (1 an en moyenne).

Les origines de cette restauration rapide sont supposées dues à une dérive et/ou une migration active et/ou une recolonisation verticale depuis le substrat à partir de formes larvaires de résistance et/ou une colonisation aérienne par des adultes venant pondre (Williams et Hynes, 1976).

Pour l'ensemble des invertébrés, les hydrophytes jouent également des rôles divers et importants en tant que biotopes de ponte, d'accueil des larves, de support de vie, etc. : les relations entre présence et abondance des communautés de macrophytes immergées et diversité et dynamique des peuplements d'invertébrés sont maintenant assez bien connues pour permettre une évaluation correcte de l'état écologique global des fossés.

1.4.4 *Les mammifères*

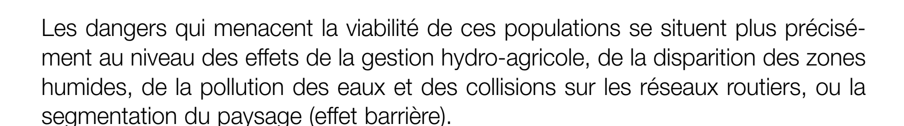
Plusieurs espèces indigènes sont présentes dans les marais :

- **laloutre d'Europe :** ce carnivore protégé est présent dans la presque totalité du réseau hydraulique des marais de l'ouest. Cette espèce explore l'ensemble des habitats aquatiques et palustres, depuis les marais boisés sujets aux inondations jusqu'aux vasières et lagunes littorales.
- **la musaraigne aquatique :** cette espèce inféodée au milieu aquatique est fréquemment mentionnée.
- **le campagnol amphibie :** cette espèce fréquente régulièrement les canaux et fossés riches en hélophytes.

Le réseau hydraulique constitue un complexe écologique de haute valeur pour ces espèces et joue un rôle majeur pour leur préservation.

La sensibilité de ces espèces au curage est évidente, notamment en raison du dérangement occasionné par les engins et des modifications physiques de l'habitat dues aux travaux. Cet impact doit pourtant être relativisé puisqu'un entretien bien mené peut garantir le maintien des habitats en les renouvelant.





Les dangers qui menacent la viabilité de ces populations se situent plus précisément au niveau des effets de la gestion hydro-agricole, de la disparition des zones humides, de la pollution des eaux et des collisions sur les réseaux routiers, ou la segmentation du paysage (effet barrière).

1.4.5 Les amphibiens et reptiles

Des célèbres grenouilles vertes à l'inoffensive couleuvre vipérine, la plupart des amphibiens et quelques reptiles utilisent les milieux aquatiques durant tout ou partie de leur cycle biologique.

Après une phase terrestre, les amphibiens viennent se reproduire dans l'eau de janvier (grenouille rousse/crapaud commun) à juin (grenouilles vertes, sous-genre Pelophylax). Les canaux, fossés, baisses et mares sont donc régulièrement fréquentés. Les œufs sont déposés dans l'eau libre ou fixés sur les plantes aquatiques. Après métamorphose, 2 à 3 mois après l'éclosion, les amphibiens perdent leurs branchies et respirent avec des poumons et la peau. Leur vie terrestre peut commencer. Certaines espèces équipées de ventouses aux pattes comme la rainette verte présentent des phases de vie arboricole. Elles fréquentent donc les haies, ronciers, etc.

Lors de travaux, ces espèces mobiles sont capables de fuir par voie terrestre aussi bien qu'aquatique. Toutefois, les travaux hivernaux sont susceptibles de déranger les espèces enfouies sur les berges pour hiverner.

Les conditions qui président à la reproduction et à la ponte nécessitent souvent des supports (plantes). Il faut ensuite que l'eau recèle des ciliés et des invertébrés comme nourriture pour les larves. Il est donc important que le fossé puisse rapidement offrir ces conditions après le curage pour être accueillant.

1.4.6 Les oiseaux

Les hérons (six espèces) affectionnent particulièrement le réseau de canaux et fossés. Sur l'ensemble du cycle annuel, ces milieux sont utilisés principalement comme zone d'alimentation. Le héron bihoreau est plutôt crépusculaire et se cache dans la végétation des berges, à l'affût, pour chasser des petits animaux aquatiques.

Les canards et les rallidés profitent régulièrement des hélophytes pour y implanter leur nid. Cette localisation en bordure des canaux et fossés leur assurent sécurité et nourriture de proximité pour l'élevage des jeunes. Outre le commun canard colvert, les bordures de fossés et de canaux peuvent être le territoire de reproduction de la sarcelle d'été, du canard souchet, de la poule d'eau ou du râle d'eau.

Les canaux et fossés associés à des formations arbustives ou arborescentes sont également le domaine de prédilection d'espèces discrètes comme le loriot

d'Europe et la pie grièche écorcheur. Les formations végétales basses (hélophytes) sont des sites de nidification privilégiés pour plusieurs espèces de fauvettes aquatiques (rousserolle effarvatte, phragmite des joncs, bruant des roseaux, etc.). Les rousserolles ont la particularité de suspendre leur nid aux roseaux. La bergeronnette printanière ou le tarier des prés affectionnent également les bordures de fossés bien végétalisés pour y construire leur nid.

IMPORTANT

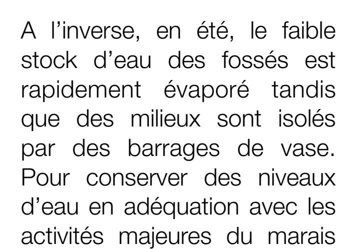
Il apparaît donc particulièrement important de pouvoir conserver autant que possible les ceintures d'hélophytes lors de l'entretien des fossés dans le but de maintenir les habitats de ces oiseaux typiques des marais. Le maintien d'un milieu accueillant susceptible d'abriter tout ou partie du cycle de vie de ces animaux est une fonction importante que doit permettre de conserver l'entretien raisonné.

> 1.5 Quels sont les buts du curage ?

Le curage a pour objectif premier de rendre sa capacité hydraulique au fossé ou au canal encombré de sédiments, de végétaux ou d'embâcles. En effet, il est essentiel que ces canaux jouent le rôle d'évacuation de l'eau (évacuation et alimentation selon les saisons). A l'inverse, ils servent d'alimentation des sols, notamment en milieu tourbeux, avec une gestion du fil d'eau adéquate. Enfin, ils permettent une gestion fine des niveaux d'eau dans la mesure où une forte réactivité est nécessaire.

Avec des vitesses de sédimentation variables mais qui sont parmi les plus rapides des milieux naturels, les réseaux hydrauliques des marais se colmatent et doivent être régulièrement curés. L'échelle de temps qui correspond à une évolution naturelle vers le comblement total d'un fossé se situe le plus souvent entre 50 et 100 ans.

Lorsque la majeure partie du réseau de fossés d'un marais est en phase d'atterrissement*, les eaux de pluie, de résurgence, de source ou de rivière qui le parcourent ne sont plus drainées et inondent les terrains, sur des durées non maîtrisées. Cette évolution n'est pas compatible avec les activités agricoles pérennes déjà en place. Dans les marais cultivés, nous avons malheureusement pu constater qu'un bon entretien du réseau était parfois contrecarré par une gestion basse des niveaux hivernaux et printaniers. Cette pratique est à déplorer en raison des impacts qu'elle peut avoir sur les milieux aquatiques et de l'instabilité des berges qu'elle entraîne en cas de gel.



A l'inverse, en été, le faible stock d'eau des fossés est rapidement évaporé tandis que des milieux sont isolés par des barrages de vase. Pour conserver des niveaux d'eau en adéquation avec les activités majeures du marais (élevage) et des objectifs biologiques légitimes, il faut alors élever la cote d'alimentation.



Source : Forum des Marais Atlantiques

Fig.7. Re-creusement d'un fossé atterri afin de restaurer sa fonction hydraulique.

En période d'étiage, ce besoin engendre des effets indirects pervers (stockage coûteux en amont, alimentation de marais à partir de pompage en nappes ou en surface, etc.). Ces faits conduisent à une impasse écologique et limitent ainsi les potentiels du milieu.

IMPORTANT

Un réseau bien entretenu permet le maintien d'un stock d'eau suffisant et la sécurisation des volants hydrauliques. Le gestionnaire peut ainsi anticiper un niveau d'eau suffisant en été par des cotes printanières hautes. Grâce à ce réseau efficace, la crainte des crues devrait être atténuée. Ces dernières pourraient être mieux accompagnées en surface, durée et niveau.

Le second impact positif du curage est de permettre à des habitats et des biocoenoses* aquatiques spécifiques de se remettre périodiquement en place. Ces habitats sont complémentaires aux zones de faibles tranches d'eau comme les baisses*, à l'échelle d'un marais.

Ces milieux aquatiques permanents, d'une profondeur supérieure à 20-30 centimètres, facilement colonisés par les hydrophytes, permettent à des organismes invertébrés et vertébrés, différents de ceux qui peuplent les milieux temporaires, de se développer.

Dès que la hauteur d'eau augmente, le milieu se tamponne progressivement avec l'inertie de la masse d'eau. Les contraintes diminuent et les peuplements se diversifient. Une grande partie de cette diversité repose sur la juxtaposition et l'interconnexion des milieux aquatiques permanents et temporaires. Pour exemple, les brochets grandissent dans les milieux qui sont toujours en eau mais se reproduisent dans les zones de faibles lames d'eau entre les mois de février et d'avril. Le curage techniquement bien mené et bien raisonné à l'échelle du marais facilite la gestion des flux et niveaux d'eau et doit permettre d'atteindre l'ensemble de ces objectifs.

> 1.6 Historique du curage

Avant les années 1950, les fossés étaient curés régulièrement à la pelle à main. Le curage se pratiquait alors à sec, les gestionnaires ayant pris soin de vider le fossé. Par exemple, une équipe de deux personnes réalisait environ 25 mètres de curage par jour dans un fossé tertiaire. A l'époque, seule la vase était enlevée selon le principe «vieux fond-vieux bord». Les berges n'étaient touchées que pour remédier à un éventuel éboulement. La végétation des berges était entretenue par fauche (pas d'arrachage) et le phragmite servait annuellement à constituer de la litière. Certains exploitants témoignent notamment de plantations volontaires de joncs destinées à stabiliser les berges.



Source : Forum des Marais Atlantiques

Fig.8. Fossé curé "à blanc", instable dans le temps

La mécanisation a ensuite entraîné une augmentation du rendement du curage en le portant à 400 m par jour dans les milieux ouverts (sans arbres). Elle a également conduit à une augmentation du calibre des fossés tertiaires qui sont passés de 1,5-2 m à 3-4 m d'ouverture en tête de berge. Lorsque la végétation des têtes de berges n'est pas respectée, chaque opération de curage correspond à un élargissement du fossé. Les engins ont évolué en gabarit vers des tailles plus importantes susceptibles de porter des bras à fort déport (jusqu'à 15 m). Les godets ont été adaptés, passant de 1,2-1,4 m de large avant les années 1980 à des formes plus fines et des godets de 2,5 m à 3 m pouvant toutefois enlever près d'un mètre cube de matériaux (soit environ 2,5 tonnes).

Le curage mécanique s'est pratiqué à sec ou en eau selon les régions (cf. § 2.2) durant plusieurs décennies et le curage à blanc, qui consiste à reprofiler les berges et à les décaper de leurs végétaux et de la vase molle, est devenu une règle tacite. Beaucoup de commanditaires attendent de telles pratiques de la part des entrepreneurs : elles offrent une vision valorisante du travail «propre» et bien fait.

IMPORTANT

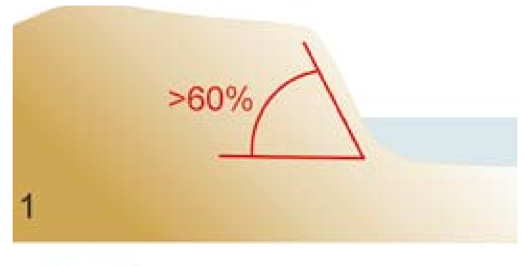
Aujourd'hui, des approches naturalistes et fonctionnelles, ainsi que l'examen des coûts induits par de telles pratiques (retours plus fréquents pour la reprises des éboulements, instabilité des berges, banalisation paysagère et écologique), et le bilan en terme de pertes progressives de terrain agricole amènent à revenir sur ces principes et à proposer des solutions alternatives.

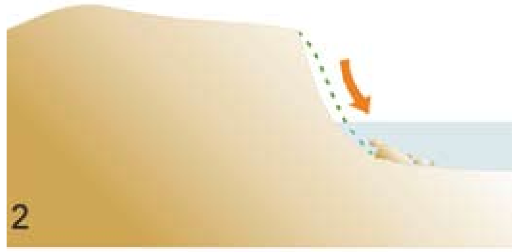
> 1.7 Quelles sont les limites du curage ?

Le curage périodique d'un fossé ou d'un secteur réalisé dans le respect des préconisations environnementales n'a d'intérêt que si les bénéfices attendus ne sont pas remis en cause par la gestion hydraulique au quotidien.

Il est par exemple inutile de s'investir dans le curage soigneux d'une zone où des marnages intenses sont mis en œuvre. De même, il n'est guère cohérent de préserver ou de restaurer une bordure d'hélophytes si certaines pratiques comme le désherbage chimique ou le labour sont maintenues jusqu'à proximité immédiate du fossé.

Le curage et les opérations attenantes décrites ici ne sont donc pas des solutions suffisantes à la garantie d'une bonne qualité de milieu. Elles doivent faire partie d'une démarche raisonnée et cohérente.





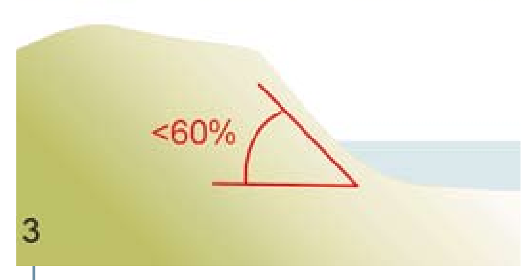
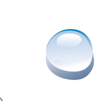


Fig.9. Pente à respecter pour les flancs de berges
1 et 2 : pente > à 60% entraînant une érosion accrue
3 : pente correcte, < à 60 %

> 1.8 Causes d'érosion et de dégradation des fossés et canaux

Le vieillissement ou l'altération des réseaux hydrauliques trouvent leur origine dans l'action synergique d'un ensemble de facteurs.






1.8.1 Les causes d'érosion des berges

• Le profil trop abrupt

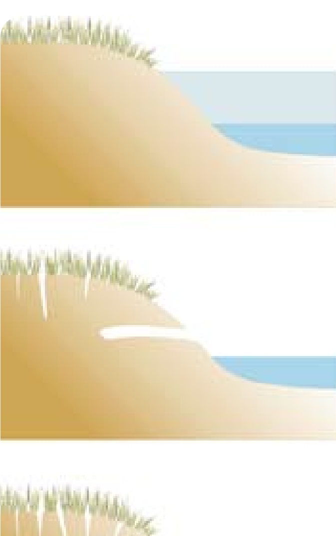
Le substrat des marais littoraux est le plus souvent composé d'argiles issues des dépôts marins (le «bri») plus ou moins riches en matières organiques et d'alluvions de rivières. La stabilité d'une berge composée de ces matériaux est variable en fonction de la cohésion qu'elle présente. Ces substrats présentent couramment des caractéristiques de structure contrastées qui oscillent entre un état saturé d'eau et un état desséché. Entre ces deux états, la vitesse de séchage ou de réhumectation va induire des états physiques variables plus ou moins stables dès que la pente dépasse quelques pour cents.

Source : ADEV

Fig.10. Berges éboulées après un curage à blanc

Il est ainsi empiriquement et couramment admis que les profils de berges en réfection ou en fabrication, qui connaîtront des états d'humectation variables, doivent présenter une pente de 60% maximum. Au-delà, les flancs de berges connaissent des éboulements importants au bout de quelques semaines.

Si les flancs restent constamment émergés, la remise en place rapide d'une couverture végétale permet de minimiser les risques de ravinement liés notamment aux précipitations.







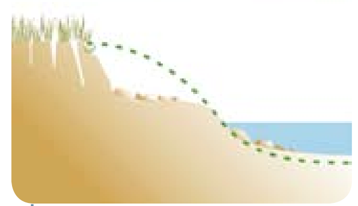


Fig.11. Eboulements dus au marnage et à la fragilisation due aux terriers creusés par les ragondins.

• Le marnage

Les argiles de bri sont sensibles à la dessiccation prolongée (plusieurs mois) et produisent des fentes (fentes de «retrait») qui peuvent atteindre 30 cm de profondeur, ainsi qu'un compactage. Jusqu'à un certain stade de dessiccation, l'argile est capable de «regonfler» pour revenir quasiment à son état antérieur après réhumectation lente. Dans le cas de fentes profondes, correspondant à des séchages plus longs, celles-ci vont demeurer même après remise en eau, Le substrat ainsi fractionné en de multiples polyèdres plus ou moins désolidarisés est bien sûr alors très fragilisé.

Si des mouvements d'eau violents (forts courants, alternance répétée de mise en eau et de mise hors d'eau) apparaissent sur de telles structures, ils occasionnent des arrachages de blocs plus ou moins gros.

• Présence de terriers

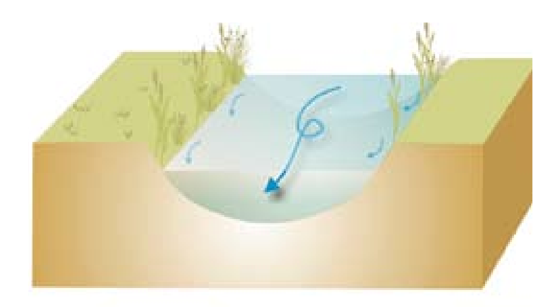
Une forte densité de galeries creusées soit par les ragondins, soit par les écrevisses de Louisiane, fragilise beaucoup les berges et correspond à un apport significatif de matériaux dans le fossé (environ 1 m^3 pour un terrier de ragondin). Face à de telles berges minées, le passage d'engins lourds sur la parcelle ou la route avoisinante ou l'apparition de mouvements d'eau violents accélèrera le processus de dégradation.

• Le clapotis et/ou le batillage

L'énergie des petites vaguelettes produites par le vent ou la navigation engendre une érosion des berges, même en l'absence de variation du niveau d'eau. Les berges les plus exposées sont donc celles qui font face aux vents dominants. Le batillage produit une zone d'érosion au niveau de la ligne d'eau. Si le phénomène se prolonge, il provoque des surplombs de berges qui finissent ainsi par s'effondrer.

• Le courant

La vitesse du courant est un facteur d'érosion important. L'eau est elle-même érosive, mais ce facteur est amplifié par la charge en particules qui augmente la friction de l'eau sur ce substrat qui présente déjà une certaine rugosité. Les zones situées à proximité des ouvrages hydrauliques importants sont particulièrement exposées à ce phénomène. Il n'est pas rare d'y observer des vitesses atteignant 1m/s (3,6 km/h) et plus.



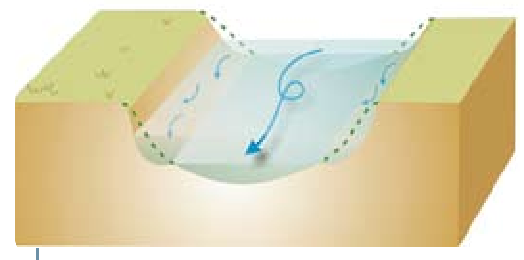


Fig.12. Effets de l'érosion causée par le courant

La réduction de la densité du linéaire de fossé à l'hectare due aux aménagements agricoles (drainage) a généré une augmentation des débits instantanés dans ces fossés lors des épisodes pluvieux, phénomène conduisant à une accélération des vitesses de courant maximales et moyennes et donc des phénomènes érosifs accrus dans les réseaux de drainage. Autre revers du système : ils sont également souvent accompagnés de fortes sédimentations localisées à des endroits de rupture de courant (coudes élargis, confluences, revers d'ouvrages, zone de refoulement des pompes…).

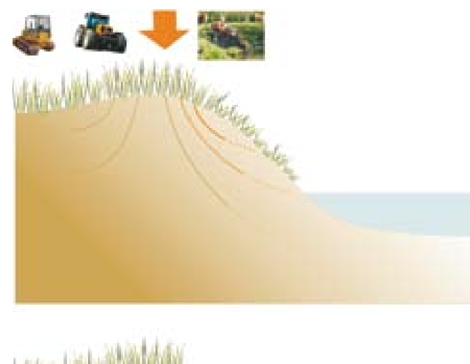
• La surchage

Les têtes de berge sont les zones où l'on rencontre une rupture de pente, puis un méplat ou un bombé de taille variable issus de précédents résidus de curage. Ce sont des zones de passage ou de stationnement pour les animaux d'élevage, ces derniers n'occasionnant au pire qu'un effet d'éboulement local à proximité des zones d'abreuvement dans les fossés. L'absence d'abreuvoirs (creusés) ou d'approches aménagées sur un certain nombre de parcelles en pâture favorise les éboulements causés par les animaux sur tout le pourtour des parcelles.

Toutefois, ce sont surtout les passages d'engins lourds tels que tracteurs, pelleteuses et tractopelles qui sont susceptibles de produire des compactages et des fissurations. Ces phénomènes fragilisent les berges et les rendent plus sensibles à l'érosion. Des phénomènes identiques sont constatés le long des chemins d'exploitation ou des routes.







• Cas particulier des berges arborées

Dans les secteurs de marais bocagers comprenant un linéaire arboré, la berge peut présenter des encoches d'érosion entre les troncs ou cosses* des arbres (frênes têtard ou autres). Le système racinaire des arbres retient et fixe la berge. Lorsqu'il y a une forte pression d'érosion sur la berge, les arbres constituent un obstacle au recul de la berge et il se crée des turbulences de part et d'autre de la base du tronc. Les parties non boisées de la berge, plus meubles, sont alors érodées (fig. 14).

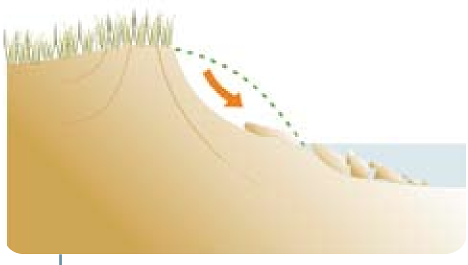


Fig. 13. Effets de l'érosion causée par les surcharges

1.8.2 Les causes de dégradation du lit des fossés et canaux

Le principal facteur d'altération des fonctionnalités hydrauliques et biologiques des fossés est lié à la sédimentation. Ce phénomène existe bien sûr depuis la création de ces systèmes ralentis, mais son intensité semble nettement s'accélérer depuis quelques décennies.



Fig. 14. Effets de l'érosion causée par le courant sur la morphologie des berges arborées.

Nous venons de voir certaines causes liées à la dégradation des berges. L'élargissement progressif des canaux avec la mise en contact de nouvelles tranches de sol avec l'eau, l'accélération des courants, les marnages violents et répétés, la prolifération des galeries, le passage proche et fréquent d'engins lourds, participent à cette accélération du processus.





Il faut également garder en mémoire que ces zones de marais recueillent l'eau provenant des bassins versants. Les aménagements agricoles et urbains dont ils ont fait l'objet se sont souvent traduits par une augmentation des teneurs en matières en suspension venant décanter dans le marais.

De même, l'augmentation des éléments nutritifs (azote, phosphore) parvenant dans ces zones accélère leur eutrophisation avec un effet fertilisant pour les producteurs primaires que sont les végétaux (phytoplancton, algues et végétaux supérieurs). Leur production exagérée étouffe le milieu et provoque régulièrement des crises dystrophiques (consommation de la majorité de l'oxygène du système pour la dégradation de cette biomasse végétale).





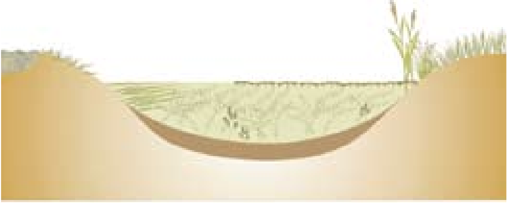




Fig.15. Effets de comblement accéléré causé par l'eutrophisation du milieu aquatique dans les fossés.

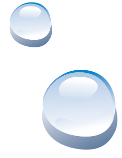
Les pratiques agricoles internes au marais (fertilisation des parcelles, stabulation hivernale de troupeaux de plus en plus importants, etc.) participent bien sûr aussi au phénomène.

L'apparition et l'explosion de certaines plantes envahissantes au cours des dernières décennies ne sont sans doute pas étrangères à ce phénomène d'eutrophisation. Elles participent en tous cas de manière parfois excessive à l'obstruction des canaux et à l'accélération de leur colmatage.

C'est le confinement, à savoir le très faible renouvellement de l'eau et les faibles échanges avec d'autres compartiments hydrauliques du marais, qui est la source la plus répandue de dysfonctionnement. Si ce phénomène est







inévitable dans un certain nombre de culs-de-sac hydrauliques, il est trop répandu dans les réseaux tertiaires des marais les moins entretenus.

Ainsi, ce ne sont pas forcément les marais cultivés qui présenteront le plus mauvais état de santé en matière d'eutrophisation, même si ceux-ci sont chroniquement affectés par ce phénomène. Un grand nombre de marais prairiaux très colmatés présentent des symptômes de dysfonctionnement avancé dû à des confinements importants : isolement par des atterrissements, réduction du calibre des fossés par comblement, niveau et volume d'eau insuffisants, franchissements non busés, buses colmatées, ouvrages maintenus fermés sont autant de facteurs fonctionnels à l'origine des problèmes.

Il est important de considérer que le marais est un espace «naturellement» peu circulant. C'est ce qui permet aussi aux phénomènes d'autoépuration de pouvoir se produire. Il faut en effet du temps pour que de l'eau de rivière ou celle issue du drainage qui gagne les fossés et les espaces inondés subissent une lente digestion. De fait, il est nécessaire de conserver des temps de résidence importants, tout en évitant des confinements néfastes.

Un subtil équilibre entre une circulation générale suffisante pour éviter le confinement et des temps de résidence suffisants doit donc être recherché pour offrir un véritable effet tampon.

2 • Comment réussir son entretien ?

> 2.1. Diagnostic préalable et programmation des interventions

L'étude de faisabilité de telle ou telle méthode de terrassement doit être précédée d'une analyse des conditions du milieu. L'expérience de terrain et le conseil de spécialistes sont fondamentaux pour réussir ces opérations. Il est en effet inutile de vouloir réimplanter une bordure d'hélophytes en cours de curage si le choix des espèces n'est pas fait en respectant leurs exigences et leur étage de croissance en fonction des niveaux d'eau. Au-delà des habitudes, des choix doivent être faits pour réaliser un curage en eau ou à sec en se basant sur une analyse qui permet de réduire les inconvénients de l'une ou l'autre technique.

2.1.1. Démarche à mener à l'échelle de l'ensemble du système concerné

L'élaboration d'une carte synthétique à partir du réseau à curer est un outil précieux qui permet de bien visualiser la localisation des interventions. Dans la mesure du possible, elle sera complémentaire d'un rapport établissant un diagnostic préalable à l'intervention. L'état des lieux paysagé, floristique et faunistique sera décrit, loca-

lisé et hiérarchisé. Les points particuliers comme la présence et la localisation des espèces envahissantes végétales et animales, les zones de frayères, les espèces à haute valeur patrimoniale, protégées ou non, les franchissements et les connexions fonctionnelles seront également pris en compte. Ce rapport et cette carte devront exister en format papier afin de pouvoir suivre le donneur d'ordre sur le terrain.

Les prescriptions générales et particulières cadrant les interventions devront être facilement accessibles, rédigées en langage simple et comprenant une visualisation précise. Ce travail préparatoire doit être soigné et prévoir tous les cas de figure (bord d'approche des engins, périodes particulières, etc.). La prise en compte à l'échelle du secteur considéré de la présence et du mode de répartition des espèces indigènes joue un rôle prépondérant dans la stabilisation des berges et la structuration des habitats aquatiques et conditionne ainsi une bonne part de la programmation.

De manière générale, les prescriptions particulières sont appliquées sur environ 10 à 20 % du linéaire à curer et se focalisent sur des tronçons particuliers comportant des spécificités naturalistes (caractéristiques écologiques remarquables). Néanmoins, tous les cas de figure existent. Sur certains secteurs particulièrement riches, la proportion peut atteindre jusqu'à 80 % de préconisations particulières.

D'autres facteurs, comme l'orientation du fossé, la présence d'une ripisylve ou d'une haie bocagère qui influent sur l'ensoleillement et la sensibilité au vent, la morphologie des terrains attenants, le niveau de l'eau, la vitesse du courant, la vitesse de sédimentation, etc., sont autant de critères devant être pris en compte de manière additionnelle.

Cette démarche doit être réalisée dans son ensemble par un chargé de mission possédant de solides connaissances du terrain, de l'hydrologie, de l'hydro-biologie et des techniques de curage. C'est le plus souvent une collectivité (syndicat mixte, communauté de communes, etc.) qui disposera des moyens humains et travaillera de manière partenariale avec les associations syndicales de marais ou les particuliers. Cet agent doit prendre le soin de parcourir attentivement l'ensemble du linéaire à curer à différentes périodes de l'année . Dans tous les cas de figure, les propriétaires, fermiers et syndicats de marais doivent être associés à cette démarche. Ce travail doit déboucher sur la validation définitive d'un plan d'action par tous les acteurs avant exécution des travaux. Le rédacteur de l'étude devra être particulièrement à l'écoute des attentes de l'ensemble des protagonistes.

2.1.2 Choix des techniques et programmation des travaux

(a) Critères de qualité et de satisfaction d'objectif

Le cadrage général des types d'intervention à effectuer ayant été réalisé à grande échelle, la seconde étape concernera le choix des techniques et de leur période de mise en œuvre locale.

La qualité de la mise en œuvre doit prévaloir au niveau stationnel, mais elle doit également être la plus régulière possible sur l'ensemble du site. Il est donc important que l'ensemble des opérations soit supervisé par un même responsable qui s'assurera de la régularité et de la reproductibilité du travail entre les différents secteurs, qu'il y ait un ou plusieurs pelleteurs ou techniciens.

Enfin, le choix des intervenants techniques est primordial, les entreprises ou les régies en charge de tels travaux devant disposer d'une main-d'œuvre habituée au travail en marais avec ses milieux aquatiques, ses végétaux et ses sols particuliers.

La qualité du matériel et la précision des gestes sont des facteurs essentiels : godets spécialisés, outils de bucheronnage en bon état, personnels formés, etc. Le «matériel» vivant (plantations) doit également faire l'objet d'un soin particulier : prélèvement dans l'environnement immédiat sur des sujets sains ou ensemencement sur des sélections rigoureuses de graines, coupes franches, conditions de conservation adéquates pour leur survie dans l'attente de plantation, etc.

Le choix de la période d'intervention doit tenir compte à la fois des usages de la zone, des cycles biologiques des espèces et des conditions de réalisation des travaux. Les conditions du succès sont également fortement liées à la saison : portance des sols pour les engins et impact minimum de l'intrusion de ces derniers, viabilité des bouturages et ensemencements réalisés, etc. La programmation des déplacements des engins et la succession des biefs ou des secteurs traités doit autant que possible être optimisée pour réduire cet impact mais aussi, bien évidemment, pour une question de coût.

Il s'agit également de limiter au maximum l'impact de ces travaux sur les zones situées en aval susceptibles d'être réceptrices des eaux turbides et des nuisances (bouturages d'espèces indésirables notamment). Pour ce faire, la pose de filets ou l'isolement temporaire de ces zones par des batardeaux est vivement conseillée. Les bottes de foin et les «roundballs» peuvent également être utilisées.

Par ailleurs, il est nécessaire de se conformer à la réglementation en vigueur dans la zone, et en particulier aux exigences de protection de la faune piscicole, et d'entrer en contact avec la Fédération Départementale de Pêche et l'ONEMA. Pêche (CSP).





Le facteur humain est ainsi essentiel et les entreprises ou les régies chargées d'effectuer ces travaux doivent disposer d'une main-d'œuvre qui a le sens de l'eau, de la texture des sols de marais et du végétal.

(b) Période de curage

En pratique, il est coutumier de prévoir les travaux entre la dernière décade de juillet et la mi-février au plus tard, afin que la plus grande partie du cycle reproductif de certaines espèces aquatiques (odonates, amphibiens, poissons, etc.) arrive à son terme. Dans les secteurs en culture, la chronologie de l'intervention est également fortement conditionnée par l'assolement. Dans les secteurs d'élevage, le bétail doit être isolé de la zone d'intervention. Les clôtures devront parfois être retirées. Le travail avec les exploitants est ici prépondérant.

La fréquence du curage, quant à elle, varie selon la nature du sol. On constate qu'en milieu tourbeux, elle peut être plus élevée (berges moins stables qui "coulent", remontée du fond), tous les 3 ans par exemple ; sur sols minéraux, elle passe à une fois tous les cinq ans ou plus dans les milieux à forte sédimentation (zones cultivées à réseau hydraulique peu dense, proximités d'ouvrages), mais atteint couramment une fois tous les 15 à 20 ans dans les zones prairiales.

(c) Méthodes de curage

Au-delà des habitudes, le choix d'un curage en eau ou à sec devrait résulter d'une analyse comparative «avantages/inconvénients» des deux techniques effectuée sous un angle technique et naturaliste.

• *Le curage à sec*

Cette méthode est la plus fréquemment employée. L'entrepreneur isole au préalable un tronçon hydraulique à l'aide de batardeaux* d'argile ou de terre. En fonction de la longueur du linéaire d'intervention, l'abaissement du niveau des eaux devra être effectué par étapes successives. L'espacement entre deux batardeaux ne doit pas excéder 600 mètres. Cette distance peut être traitée en deux jours. Les nuisances liées à l'assec (vie biologique, effondrement des berges etc.) seront ainsi limitées.

A cet égard, il faut noter la difficulté de faire réaliser des batardeaux sur des secteurs à forte densité de fossés ainsi que le surcoût qui en découle. Au regard des potentialités biologiques relativement riches de ces milieux à fort maillage, il est par ailleurs déconseillé d'opérer des curages à sec. Les atteintes au milieu naturel dues à l'assec, cumulées au surcoût des batardeaux, en rend l'intérêt très limité.

En règle générale, il est préférable de s'accorder avec le propriétaire et/ou l'exploitant pour le prélèvement des matériaux nécessaires à la construction du batardeau temporaire ainsi que pour la remise en état des lieux. Des batardeaux peuvent également être réalisés en palplanches fichées dans la vase.

La section comprise entre les deux batardeaux est vidée à l'aide de moyens laissés à l'initiative de l'entrepreneur (pompe thermique, élévateur sur prise de force, etc.). Il est judicieux, pour le respect de la vie aquatique, le contrôle du niveau radiant de l'émissaire et un bon degré d'hygrométrie des vases à étaler, de laisser une lame d'eau suffisante (entre 10 et 20 cm) au fond de la section concernée.

Le principal avantage de cette méthode réside dans le fait que le conducteur de pelle et le maître d'ouvrage peuvent surveiller de près le travail effectué. La faible ligne d'eau qui persiste permet de régler avec précision le nivellement du fond. D'autre part, cette méthode limite l'impact sur les compartiments voisins puisqu'aucune remise en suspension n'intervient. Les déblais sont relativement solides et nécessitent un étalement sur bordure de parcelle, ce qui implique une opération et donc un temps supplémentaire pour chaque godet rempli. Cette méthode ne permet en revanche aucun échappement de la faune mobile (poissons notamment) qui n'aurait pu être évacuée auparavant.

De plus, la pêche préalable ou le pompage, outre leur sélectivité, occasionnent directement (broyage par les pompes) et indirectement (assec, envasement dans les fonds) de fortes mortalités piscicoles.



Source : Forum des Marais Atlantiques

Fig.17. Curage en eau

• *Le curage en eau*

Les avantages et les inconvénients de cette méthode s'inversent par rapport au curage à sec pour une même période d'intervention. Les curages peuvent s'avérer plus fréquents. En effet, le contrôle visuel est plus difficilement effectué sur le profil et la section travaillés, avec une vitesse de progression de la pelleteuse équivalente le long du bord. Les déblais sont liquides et s'étalent d'eux-mêmes. Ils nécessitent peu ou pas de reprise pour le pelleteur, et donc une économie de temps.

> 2.2. Le suivi des travaux

La conception d'un cahier des charges et la planification des travaux ne peuvent s'affranchir par la suite d'un suivi d'accompagnement sur le terrain pendant la durée des travaux. Cette visite de chantier doit être réalisée, si possible, par le rédacteur des documents. **En effet, l'échange, l'explication et le contrôle de l'exécution des prescriptions est un gage de la bonne marche de l'opération.**

Si le prestataire réalise ce type de travaux pour la première fois, un suivi quotidien ou au minimum tous les deux jours est nécessaire. Si le prestataire est formé et habitué à ces protocoles, un suivi hebdomadaire peut être suffisant.

A la fin du chantier, l'entreprise doit fournir au maître d'ouvrage un plan de recollement des travaux effectués. Selon l'année de réalisation, ces plans peuvent faire l'objet d'une synthèse pluri-annuelle effectuée par le maître d'ouvrage et qui pourra ainsi clairement faire ressortir l'année de curage de chaque tronçon ayant fait l'objet d'une intervention.

3 • Préconisations générales

> 3.1. Information et formation des conducteurs de pelle mécanique - supervision

Il existe un certain nombre d'habitudes dans la mise en œuvre de travaux de terrassement : le façonnage des alignements, des bords anguleux, des berges et des fonds lisses correspondent à une culture d'ordonnancement de la nature, du «travail bien fait». Toutefois, les effets négatifs que l'on a exposés auparavant conduisent à revoir ces principes.

Il est donc souvent important d'attirer l'attention des maîtres d'œuvre et de la main-d'œuvre sur la nécessité de mettre l'excellence technique au service de principes plus rationnels. De simples conseils et des séances de formation sur le terrain en conditions réelles doivent être proposés pour rendre les notions ci-après plus évidentes.

> 3.2. Travaux préalables

Souvent effectuée en étroite relation avec les propriétaires et les exploitants, la préparation du chantier nécessite quelques interventions. Selon la taille des parcelles, le bétail peut parfois être parqué hors du périmètre d'intervention. Des clôtures doivent être temporairement retirées et des accès dégagés. Les accès et les voies empruntées doivent être clairement établis après avoir été négociés au préalable avec chaque propriétaire ou exploitant.




Lorsque l'une des parcelles riveraines est cultivée, le **choix du bord d'approche** et surtout le dépôt des produits de curage devra autant que possible (avec accord des propriétaires) se faire sur cette parcelle. Le produit de curage est déposé du côté du bord d'approche. Afin d'épargner certains tronçons sensibles (station de plantes rares, haies…) ou de prévoir les travaux préalables et les modalités d'accès, ce choix du bord d'approche des engins doit être arrêté dans des prescriptions rédigées en accord avec les acteurs concernés.





3.2.1. Gestion de la ripisyle

Dans le cadre d'une intervention sur la strate arbustive ou arborescente liée aux travaux de curage, il est nécessaire d'apprécier au préalable la pertinence de la conservation de ces éléments structurants du paysage. En effet, certains marais ont une structure bocagère ou boisée historique. Dans d'autres secteurs, des arbres ont pu s'installer sur les berges là où ils étaient absents il y a encore une vingtaine d'années. Les raisons, diverses, sont principalement liées à la diminution importante du pâturage des bovins.

Cette modification paysagère du marais peut faire évoluer rapidement la valeur patrimoniale des périmètres en question. La flore et la faune peuvent se modifier, voire se banaliser très rapidement. La suppression ou le maintien total ou partiel de ces ligneux dépendent étroitement des objectifs territoriaux que les acteurs se fixent sur le long terme. Une bonne évaluation préalable de la valeur patrimoniale-passée, présente et potentielle du territoire éclairera l'opérateur.

Dans le cas de la ripisylve*, une coupe sélective devra être effectuée. Elle permettra une meilleure accessibilité au canal et pourra être, si elle est bien réalisée, un facteur sensible d'amélioration de la qualité et des potentialités biologiques du milieu aquatique. Elle devra être menée dans un souci constant d'obtenir, au sein du linéaire, une **répartition équilibrée entre les zones ombragées et les zones ensoleillées.**

Un milieu aquatique dont la ripisylve crée un ombrage permanent est souvent un milieu à diversité biocénotique réduite (peu de végétation aquatique, de sites de frai ou de ponte et peu de nourriture) dans lequel des dysfonctionnements physico-chimiques sont à craindre du fait de la mauvaise oxygénation de l'eau.



En revanche, un milieu dont l'ensoleillement est réparti de façon homogène sur environ un quart ou un tiers du linéaire présente un meilleur équilibre écologique (développement des végétaux, oxygénation de l'eau, augmentation des capacités d'accueil et de nourrissage).

A l'inverse, un milieu trop ensoleillé et présentant de surcroît une concentration particulièrement élevée en éléments nutritifs (ce qui est souvent le cas) favorisera une très forte production végétale (signe de dystrophisation*).







La ripisylve joue également un rôle important dans le maintien des berges, la limitation des apports d'éléments nutritifs et de matières en suspension (érosion), l'accueil de la faune et l'aspect paysager. Dans certains secteurs de marais remembrés, les seules haies boisées se situent le long des berges des fossés et canaux.

Afin de tenir compte de ces différents aspects fonctionnels, la coupe sélective de la ripisylve devra donc être menée de façon raisonnée :

- étêtage des têtards (frênes, saules etc.) avec conservation d'un «tire-sève», si nécessaire, et des «cosses» (même les vieilles cosses, qui peuvent abriter la rosalie des arbres (Rosalia alpina), insecte inscrit aux annexes II et IV de la Directive Habitats) ;

- si la coupe de quelques arbres est nécessaire, ne pas dessoucher ; un arbre sur quatre en moyenne devra être conservé (étudier la possibilité de travailler avec un godet plus étroit) ; c'est surtout l'écart entre les arbres qui doit être pris en considération : un espacement de 6 à 8 mètres semble intéressant ;

- certaines essences nobles comme les chênes pédonculés (Quercus pedunculata) ou les aulnes glutineux (Alnus glutinosa) pourront être épargnées par la coupe ;

- l'élimination systématique de la strate arbustive (prunelliers, aubépines, ronciers…) doit être proscrite afin de conserver une bonne répartition de l'ombrage et de l'ensoleillement, de maintenir les potentialités d'accueil de ces haies (oiseaux nicheurs, loutres…) et d'éviter une banalisation du paysage ;

- dans la mesure du possible, la coupe et l'entretien de la ripisylve doivent être réalisés juste avant la programmation du curage, de préférence en dehors des mois de mars à juillet (nidification). Cette mesure permet de ne pas avoir à effectuer une nouvelle coupe des rejets liés aux coupes de l'hiver précédent.

Ponctuellement, des branches basses affleurent à la surface de l'eau. Cet ombrage abrite une faune diversifiée qui s'y réfugie afin d'échapper à la prédation et à un ensoleillement trop important. Lors de l'entretien préalable de la ripisylve et des travaux de curage, une attention particulière sera apportée au maintien de quelques branches basses qui augmentent la diversité des habitats du milieu aquatique. Chaque fois que cela sera possible, le conducteur de pelle s'efforcera de passer sous cette ligne de branches basses pour procéder au curage.

Sur certains sites, la berge s'est érodée entre les cosses des frênes. Afin de conserver la stabilité des berges à ce niveau et de ne pas accroître l'affaissement des arbres, le curage ne devra pas être effectué au-delà de la ligne d'avancée des arbres (Fig.18).



Fig.18. Zone à ne pas dépasser pour le curage des fossés érodés bordés d'arbres

La périodicité de l'entretien des ripisylves devra d'abord être adaptée aux rythmes de fonctionnement de cette formation végétale et non strictement subordonnée aux interventions de curage : bien que du point de vue de l'organisation et du financement, des interventions combinées soient généralement préférables sur les sites où, par exemple, l'intensité de développement des rejets de souches risque de remettre en cause les intérêts de cette végétation, des opérations spécifiques d'entretien plus régulières pourront être mises en œuvre.

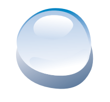
3.2.2. *Entretien préalable des haies buissonnantes*

En marais ouvert, la ripisylve est absente mais il n'est pas rare de rencontrer des buissons répartis de manière plus ou moins homogène le long des berges. Les espèces que l'on rencontre le plus souvent sont l'aubépine, le prunellier, la ronce, l'églantier mais aussi le tamaris. Leur destruction est à proscrire pour les raisons citées précédemment. Le déracinement et l'utilisation de phytocides sont à exclure dans tous les cas. Par ailleurs, il est préférable d'opérer systématiquement des coupes franches sur les branchages avec des outils de bucheronnage plutôt que d'employer des outils broyeurs. Ces derniers occasionnent des blessures plus difficiles à cicatriser et fragilisent les essences ainsi traitées.

Enfin, se pose parfois la question de la préparation d'une seule ou des deux berges occupées par des haies. Trois cas peuvent se présenter :

- lorsque les deux berges sont fortement colonisées par les buissons, on ne coupera qu'un seul côté pour l'accès au fossé ;
- lorsqu'une seule berge présente une haie, on choisira de curer à partir de la berge opposée (sauf prescription particulière, lorsque le choix du bord d'attaque* sera conseillé) ;
- lorsque la berge est occupée de manière éparse par des épineux, on prendra soin, dans la mesure du possible, de les maintenir en l'état.

Par ailleurs, il faut tenir compte de la règle d'usage qui veut que l'accès se fasse alternativement entre deux curages, d'un côté puis de l'autre. Or, cette règle ne doit pas non plus réduire à néant des potentialités biologiques. Un espace de négociation est donc nécessaire.



En zone de culture intensive, le maintien de la végétation buissonnante est d'autant plus important que celle-ci constitue souvent les derniers refuges et habitats de la faune locale. Dans ces zones, les milieux buissonneux sont relictuels. S'ils disparaissent, les pratiques agricoles actuelles ne permettront pas leur réinstallation spontanée.

> 3.3. Principe de curage "vieux fond-vieux bords"

Le curage devra être mené selon le principe du «vieux fond-vieux bords» en respectant le calibre et le profil des fossés. Au cours du temps, un fossé a tendance à s'envaser en raison, notamment, de l'érosion des berges. Ainsi, l'ouverture du fossé aura tendance à s'élargir. Il va de soi que le curage ne doit pas être une occasion de recalibrage du fossé en partant de la nouvelle berge. Le curage préconisé doit impérativement débuter à l'aplomb de l'ancienne berge.

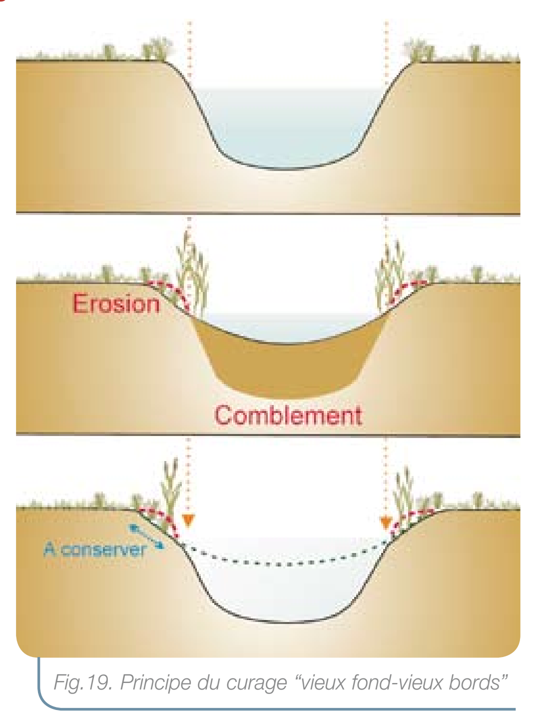


Fig.19. Principe du curage "vieux fond-vieux bords"

Afin que le curage soit réalisé dans les meilleures conditions, les tailles du godet et du bras de la pelleteuse doivent être adaptées à celle du fossé. Par exemple, pour curer un fossé de 3 m de large, on utilise souvent une pelleteuse munie d'un godet de moins de 2 m et d'un bras articulé de 6 m. La plupart des entreprises travaillant couramment en marais ont conçu des godets efficaces. Les progrès à apporter se situent plutôt dans la manière de les employer.

> 3.4. Conservation de la ceinture végétale

Située à l'interface du milieu aquatique et du milieu terrestre, cette ceinture végétale est primordiale pour le maintien de l'équilibre de l'écosystème aquatique :

- maintien de la berge grâce à un système racinaire dense venant en complément des structures racinaires des strates buissonnantes, arbustives et arborescentes,

- réduction des apports d'éléments nutritifs et des matériaux d'érosion dans les eaux,
- support végétal pour la ponte des espèces inféodées aux milieux humides et pour les larves qui s'y accrochent afin d'achever leur cycle évolutif (de l'état larvaire à l'état adulte),



Source : C. Egreteau, LPO

Fig.20. Curage avec respect des ceintures végétales : le résultat est invisible.

- sites de nidification pour certaines espèces d'oiseaux aquatiques et de frai pour certaines espèces de poissons,
- zone de nourriture pour la faune aquatique et terrestre et zone refuge pour les alevins et les larves aquatiques.

Eu égard aux rôles biologiques, physico-chimiques et mécaniques de cette ceinture végétale, sans oublier son aspect paysager, la conservation de sa diversité et de son abondance devra être un objectif prioritaire lors de la réalisation du curage. D'une façon générale, le curage devra être mené de façon à ce qu'au printemps suivant, une végétation de bordure herbacée d'au moins 20 à 30 cm ait pu s'installer pendant l'hiver en attendant la colonisation par la végétation aquatique dès que les niveaux d'eau seront remontés.

Le respect du principe «vieux fond-vieux bords» doit permettre de conserver la ceinture végétale de type hélophyte qui s'est développée sur la partie affaissée de la berge. Le godet viendra «mordre» devant les premiers pieds d'hélophytes en appuyant légèrement sur leur base pour consolider la berge. L'élimination de cette végétation de tête de berge induirait un recalibrage du fossé. Ainsi, il est couramment conseillé au pelleteur de mordre dans la vase molle au bas de cette bordure végétale, sous le niveau de l'eau, afin d'atteindre le sol de «bri».



Source : H. des Touches, ADEV (2004)

Fig.21. Recurage à blanc supprimant toutes les hélophytes

La situation décrite ci-après est à proscrire (Fig.21). L'absence de végétation sur la berge, conséquence d'un curage dur, entraîne, outre une plaie paysagère, une vulnérabilité de la berge face à l'érosion et réduit à moyen terme les possibilités pour la faune aquatique d'y trouver refuge, nourriture et site de reproduction.


Source : Forum des Marais Atlantiques

Fig.22. Conservation d'une ceinture végétale sur les petits fossés lors du curage.

Dès le début du printemps, lorsque l'ouverture en gueule du fossé est faible (moins de 2 m) et la hauteur d'eau peu importante, le milieu est souvent comblé par la végétation aquatique ou semi-aquatique. La totalité de cette végétation ne peut être conservée. Seule une petite ceinture végétale privilégiant les hélophytes sera maintenue sur une largeur d'environ 30 cm (Fig.22).





Fig.23. Fossé avec berges hautes : curage du vieux fond et maintien d'une rupture de pente favorable aux hélophytes dans le but d'éviter la poursuite de l'élargissement du fossé.

Dans le cas des fossés à berges hautes et plus abruptes, la végétation de type hélophyte est souvent plus réduite au profit d'une végétation herbacée ; la pente ainsi végétalisée ne devra pas être modifiée. Le curage ne devra être entrepris qu'à environ 20 à 30 cm après le début du dépôt de vase, au niveau duquel une légère rupture de pente est visible (Fig.23).

> **3.5.** Conservation des connexions avec les milieux attenants

En zone de marais, le maillage des différents réseaux (et notamment du réseau tertiaire) est parfois extrêmement dense, notamment dans les zones de prairies naturelles humides. S'y ajoutent de nombreuses zones basses : mares, abreuvoirs, baisses, en relation directe avec le réseau linéaire.

Chaque type de milieu offre des conditions de vie et des habitats spécifiques. La faune aquatique, notamment les poissons et les amphibiens, n'est pas inféodée en permanence à un seul type de milieu mais change de site au cours de ses cycles évolutifs, des saisons et des conditions du milieu.



Source : Forum des Marais Atlantiques

Fig.24. Fossé en relation avec une prairie humide inondable (marais de Brouage). Le bourrelet de curage est interrompu pour permettre la libre circulation de l'eau. Dans certains cas, si l'on veut conserver plus longtemps de l'eau sur les parcelles, il est au contraire intéressant de demander le dépôt sur la jonction.

Pour cette faune, il est important que les relations hydrauliques entre les différents types de milieu soient conservées (réseau primaire, secondaire, tertiaire (chevelu), baisses, abreuvoirs, zones humides, etc.).

Lors des travaux de curage, pour ne pas réduire, voire détruire ces relations, le conducteur de pelle prendra donc soin de :

- reprofiler en cuvette les fossés sur lesquels il a été amené à passer ou qu'il a dû combler lors de sa progression ; le fond du fossé latéral devra déboucher en pente douce au niveau du vieux fond du fossé qui vient d'être curé ;
- reprofiler également les exutoires des fossés latéraux situés sur l'autre rive, en pente douce, sur une distance de 5 à 6 mètres, selon les capacités d'élongation du bras de la pelle mécanique (Fig.25), afin ne pas créer de différence de niveau, après curage, entre le radier du fossé curé et le radier des fossés latéraux. Cette différence entraînerait un assèchement précoce des fossés latéraux et surtout une diminution très rapide de leur niveau d'eau qui ne permettrait pas la fuite des organismes aquatiques ;





Fig.25. Reprofilage des connexions de fossés latéraux





Quand l'enjeu ichtyologique n'est pas prioritaire, la continuité du bourrelet de curage peut être recherchée dans le cadre de prescriptions particulières. En effet, pour des intérêts ornithologiques, floristiques ou herpétologiques, il est parfois utile de maintenir un niveau d'eau plus haut dans la baisse, notamment jusqu'à la fin du printemps. Ce cas de figure est d'ailleurs régulièrement prévu dans le cadre des contractualisations liées aux mesures agri-environnementales (OGAF, OLAE, CTE, EAE, CAD, etc.) conclues entre l'Etat et les exploitants agricoles. Cette démarche est souvent nécessaire quand le niveau d'eau collectif est maintenu trop bas.

> 3.6. Epandage des produits de curage



Source : Forum des Marais Atlantiques

Fig.26. Le dépôt de la vase extraite se fait contre ou par-dessus l'ancien bourrelet.

Les boues seront épandues sur ou contre les anciens bourrelets de curage, lorsqu'ils existent. Dans le cas contraire, l'espace entre le fossé et le début du dépôt ne devra pas excéder 1,50 m à 2 m afin de limiter l'emprise des travaux, notamment sur les prairies naturelles.

Afin de faciliter le passage des engins lors des futurs curages et d'en diminuer le coût, il est parfois envisageable, si la physionomie de la prairie le permet, de laisser un passage d'environ 4 m entre le fossé et le bourrelet du produit de curage. Ces bourrelets devront être aplanis au godet ou à l'aide de tous autres engins mécaniques (bulldozers, herse rotative, etc.) dans les meilleurs délais. Mais le plus souvent, il convient d'étaler suffisamment les vases sur l'ancien bourrelet afin que les engins puissent passer par-dessus lors du prochain curage.

Dans les zones cultivées, cette terre pourra être régalée sur l'ensemble de la parcelle. Sur certains sites faisant l'objet de prescriptions particulières, les boues devront être déposées à une distance supérieure afin de conserver un caractère humide à certaines zones particulièrement basses en bordure immédiate du fossé.

Rappel :
la loi sur l'eau interdit formellement le comblement de dépression humides

Certains secteurs hygrophiles seront exempts de tous produits de curage.

En fonction de la nature du produit de curage, il est parfois nécessaire d'attendre une année supplémentaire pour étaler et niveler la terre. Le ressuyage, le gel et le tassement naturel du substrat rendent cette intervention plus aisée.



Ces champs d'épandage sont le terrain de prédilection de plantes adventices*. Ces plantes pionnières doivent faire l'objet d'interventions pastorales, manuelles ou mécaniques dans le but de contrôler leur présence (ex : chardon). Dans le cas d'une prairie, un réensemencement par des graminées accélérant la reprise du fond prairial est parfois effectué.


Source : C. Egreteau, LPO

Fig.27. Dépôt de la vase avec confection d'un bourrelet pour éviter son intrusion sur une roselière.

Au droit des tronçons où les produits de curage ne peuvent pas être étendus (propriété bâtie, chemin, etc.), ces produits seront transportés et déposés dans des lieux définis en accord avec le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et les propriétaires/exploitants concernés (hors zone humide).

Le curage donne également l'occasion de remonter à la surface des macro-déchets (machines à laver, pneus, etc.) qui devront être évacués vers les lieux spécialement prévus à cet effet. Les encombrants d'origine naturelle (troncs, etc..) doivent quant à eux être laissés en tas accessibles pour être traités par le propriétaire.

> 3.7. Reprofilage d'approches



Fig.28. Disposition recommandée de clôture dans le fossé pour certaines approches.

Au niveau de certaines approches[4], le piétinement du bétail favorise un envasement du fossé, notamment lorsque l'accès est abrupt et l'approche de faible longueur. Leur **reprofilage** peut être envisagé afin de réduire cet envasement et permettre l'accès du bétail en période de basses-eaux. Afin de permettre la recolonisation végétale (réensemencement naturel) des approches reprofilées par leur végétation spécifique, on prendra soin de conserver quelques approches en l'état :

- les approches opposées au bord d'attaque,
- lorsqu'une parcelle présente plusieurs approches, au moins l'une d'entre elles.

[4] *Approche : zone aplanie en pente douce permettant l'accès au fossé pour l'abreuvement du bétail.*

Pour certaines approches faisant l'objet de prescriptions particulières, le reprofilage sera soit déconseillé, soit accompagné de quelques précautions, notamment lorsque des espèces végétales telles que la renoncule à feuille d'ophiglosse ou le damasonium étoilé y seront détectées.

La pose d'une clôture sur la ligne de crête de la berge devrait accompagner tout reprofilage d'approche afin de limiter le piétinement du bétail dans le fossé.

En certains endroits, une clôture est présente, mais sa position trop avancée dans le fossé ne permet pas de limiter l'envasement. Elle devrait alors être déplacée vers la berge. Pour en assurer une bonne fonctionnalité sur l'ensemble du cycle annuel, il va de soi que le gestionnaire prendra soin d'y maintenir un bon niveau d'eau.

> **3.8.** Tenue du chantier

De nos jours, les entreprises intervenantes doivent impérativement garantir la propreté du chantier, en particulier par la mise en place d'aménagements étanches à proximité de ce dernier afin de neutraliser les écoulements éventuels des bidons de carburant ou d'huile. Ces lieux de stockage doivent être de préférence éloignés des surfaces en eau. Dans la mesure du possible, les travaux d'entretien des machines sont à proscrire sur le chantier. Les interventions de remplissage et de graissage doivent être effectuées avec précaution afin d'éviter toute fuite vers les milieux sensibles.

4 • Préconisations particulières

Des prescriptions spéciales relatives aux tronçons possédant des spécificités naturalistes doivent pouvoir être retenues sur un certain pourcentage du linéaire à curer.

> **4.1.** Choix de rive et technique de bord d'approche du curage

Lorsque l'une des bordures est cultivée, le choix du bord d'approche et surtout le dépôt des produits de curage devra, si possible et avec accord des propriétaires, se faire sur la culture. Le produit de curage est déposé du côté du bord d'approche. Afin d'épargner certains tronçons sensibles (station de plantes rares, haies, etc.), le bord d'approche des engins devra être arrêté dans les prescriptions.

Les boues seront épandues sur les anciens bourrelets de curage, lorsqu'ils existent. Dans le cas contraire, l'espace entre le fossé et le début du dépôt ne devra pas excéder 1,50 m à 2 m afin de limiter l'emprise des travaux, notamment sur les prairies naturelles. Dans les zones cultivées, cette terre pourra être régalée sur l'ensemble de la parcelle.




Sur certains sites faisant l'objet de prescriptions particulières, les boues devront être déposées à une distance supérieure afin de conserver un caractère inondable à certaines zones particulièrement basses situées en bordure immédiate du fossé. Certains secteurs hygrophiles seront exempts de tout produit de curage.

> 4.2. Réensemencement du linéaire neuf

Grâce à la circulation de l'eau et au déplacement des organismes, le linéaire neuf au sein d'un maillage dense de canaux bénéficie, sans intervention pour sa recolonisation, des apports végétaux (boutures, graines) et animaux (oeufs, larves et adultes) en provenance du linéaire ancien et des réseaux non curés. Toutefois, ce système peut s'avérer difficile (problèmes de circulation d'eau) ou insuffisant pour restaurer à court terme les peuplements qui viennent d'être détruits par l'intervention. Il est donc intéressant d'aider à la recolonisation par des gestes simples.



Fig.29. Réensemencement à la pelle mécanique de la zone curée par épandage de la crème de vase ancienne.

Certains tronçons présentent une biocénose (faune et flore) particulièrement riche et remarquable. Si le curage se fait à sec ou en abaissant les niveaux d'eau, un réensemencement peut être réalisé. Afin de conserver certaines espèces protégées ou de favoriser la recolonisation biologique, une fraction de la couche superficielle de la vase (les 5 à 10 premiers centimètres) contenant les graines et les boutures végétales ainsi que les larves et les adultes de certaines espèces d'invertébrés aquatiques sera conservée au sein du milieu aquatique. Cette couche sera prélevée à l'aide du godet puis sera déposée à quelques mètres en aval, dans la partie du fossé qui vient d'être curée. Elle pourra également être simplement poussée latéralement avec le côté du godet jusqu'au niveau déjà curé. Cette dernière méthode peut s'appliquer en eau.

Les tronçons faisant l'objet de ce réensemencement ainsi que la fréquence de l'opération devront être indiqués dans la partie relative aux commentaires des prescriptions particulières. Pour exemple, un réensemencement peut être réalisé à raison d'un godet déposé tous les 20 mètres.







> 4.3. Création de marches ou banquettes végétalisées

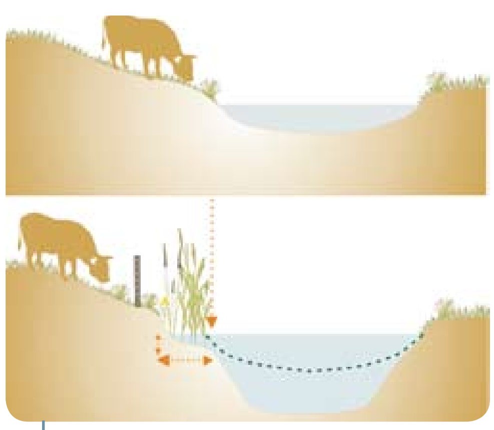


Fig.30. Création et protection de la banquette après creusement.

La création d'une marche ou banquette végétalisée ennoyée en hiver et au printemps et hors-d'eau en été et en automne permet d'offrir des milieux temporaires intéressants en accès direct à partir du fossé. Cette préconisation doit rester localisée. Si les niveaux d'eau, les plantes et les animaux envahissants sont bien maîtrisés, ce principe peut déboucher sur de bons résultats biologiques. Les hélophytes peuvent s'implanter et des frayères et nourriceries se constituer.

En revanche, cette mesure augmente fortement l'emprise du fossé et le volume du produit de curage. L'installation et le coût d'une clôture pendant la phase de recolonisation végétale de cette banquette peuvent également être un handicap.

> 4.4. Plantation et repeuplement

Les opérations de renforcement de berges concernent souvent des rives boisées. L'érosion de la berge conduit à un "sous-cavage" des racines qui peut entraîner un déracinement et un abattage des arbres.

Pour le maintien des biotopes arborés et de l'aspect paysager des berges boisées, les arbres ne devront pas être dessouchés lors des travaux. Si le dessouchage s'avère indispensable, des plantations doivent être envisagées (frêne oxiphile, aulne glutineux, orme champêtre, saule cendré, saule marsault, tamaris). Les essences locales doivent être systématiquement préconisées.

Des plantations d'hélophytes pourront être envisagées sur les berges. Les espèces choisies devront correspondre aux espèces rencontrées dans le milieu naturel environnant. Il est important de ne pas introduire d'espèces exotiques envahissantes ou d'espèces qui auraient une origine extérieure au marais. Il convient d'établir une liste des espèces spécifiques à chaque territoire pouvant être replantées, en collaboration avec les experts locaux. L'origine des graines ou des plants devra être rigoureusement contrôlée et il sera absolument nécessaire de recourir à des graines ou plants issus de la zone considérée pour éviter toute «pollution génétique».





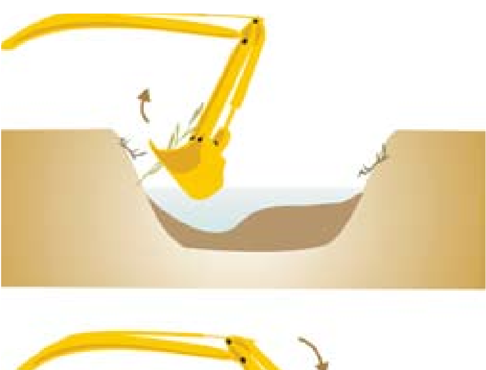






Fig.31. Replantation mécanique des hélophytes prélevés sur le milieu

Les techniques employées devront respecter l'aspect des berges et favoriser le développement des hélophytes en créant des paliers ou des pentes douces. La stabilisation par un dispositif en dur ou à pente abrupte n'est admissible que si des infrastructures telles que des habitations ou des routes se situent à proximité immédiate de la berge.

Dans des cas particuliers (sols instables, forts marnages, terriers de ragondins, etc.), certaines berges de fossés devront être reprofilées pour tenter d'enrayer l'érosion. Si des touffes assez importantes d'hélophytes (iris, jonc fleuri, massettes, etc.) se maintiennent encore ponctuellement, il est important de les conserver une fois qu'ils auront été soigneusement retirés avec la pelle. Ces plantes font généralement preuve d'une excellente capacité de reprise et d'extension.

Ainsi, afin de faciliter et d'accélérer la recolonisation de la plus grande partie possible de la berge par les hélophytes après le curage, on peut envisager de replanter, c'est à dire de repositionner mécaniquement, à la bonne hauteur dans la nouvelle berge, celles qui viennent d'être enlevées.



> 4.5. Stabilisation de berges

Avant toute intervention de stabilisation des berges, il est primordial de connaître les causes de l'érosion. L'analyse de la situation doit également permettre de vérifier que les opérations prévues sont effectivement conformes aux objectifs de gestion durable du patrimoine aquatique et ne sont pas destinées à satisfaire des intérêts locaux éloignés de ces objectifs.

Une réflexion globale sur la gestion des crues, de l'étiage et des ouvrages permettrait de réduire notablement les problèmes d'érosion. Néanmoins, il s 'avère que des stabilisations de berges, parfois urgentes, s'avèrent nécessaires localement (routes, maisons, ouvrages d'art, etc.). L'enrochement peut s'avérer incontournable, mais ne devrait être réservé qu'à des tronçons réduits.

Il existe des techniques de génie végétal alternatives qui ont prouvé leur efficacité et qui peuvent combiner des bouturages simples, des caissons végétalisés à double paroi et des géotextiles avec bouturage et plantation d'hélophytes.

Pour de plus amples détails sur les techniques et les coûts, se reporter à l'ouvrage cité en référence (LACHAT B., 1994).

> 4.6. Limitation des travaux au programme prévu par le cahier des charges

Certains propriétaires-exploitants profitent de la présence des pelleteuses pour faire réaliser des compléments de travaux à leurs frais dans le périmètre d'intervention des travaux de curage de fossés. Ces travaux échappent à tout contrôle et débouchent parfois sur des arrachages de haies, des comblements d'abreuvoirs, des élargissements de fossés, des dépôts de déblais sur les «baisses», etc. Ces initiatives, souvent inopportunes, doivent être jugulées dans la mesure du possible. Une action pédagogique peut être tentée afin de minimiser l'impact de ces interventions. Au minimum, un porter à connaissance de la réglementation doit être dispensé.



Source : H. des Touches, ADEV (2004)

Fig.32. Comblement de fossé avec le produit de recurage d'un fossé voisin.



Il est également possible d'inclure au cahier des charges confié à l'entreprise une mention excluant la possibilité d'effectuer des travaux pour des tiers durant la période dédiée aux curages initiés par le maître d'ouvrage.

> 4.7. Précautions concernant les espèces exotiques envahissantes végétales et animales

Certaines espèces animales ou végétales sont susceptibles de compromettre rapidement les résultats de l'intervention de curage. D'autre part, pour certaines, une intervention mal menée peut déboucher sur une accélération de leur dissémination au sein et aux alentours du secteur travaillé.

4.7.1. Coordination du curage avec le programme de lutte

Des programmes d'éradication ou de régulation de ces espèces sont régulièrement menés. La régulation du développement des plantes concernées se fait par arrachage manuel et par traitement chimique et/ou mécanique. La lutte contre les animaux se fait par piégeage (nasses, cages-piège) ou par tir.

En ce qui concerne les plantes, il est recommandé qu'au moins deux mois avant le curage, le maître d'œuvre informe le ou les organismes chargés du contrôle des végétaux (syndicats de rivières, FDGDON) sur :

- la localisation des stations détectées ;
- le linéaire à curer, afin qu'une prospection rapide permette de détecter si des nouvelles stations se sont installées ;
- les dates prévues pour le curage de la tranche concernée.

Ainsi, une bonne coordination pourra être mise en place afin que l'organisme chargé du contrôle des plantes agisse préalablement au passage de la pelle mécanique. De plus, cet organisme spécialisé pourra donner des instructions particulières quant à la réalisation du chantier dans le but de minimiser les risques de dissémination.

4.7.2. Les végétaux

De tous temps, les proliférations végétales ont existé. Elles résultent de l'eutrophisation du milieu et/ou de la survenance de conditions favorisant le développement d'une espèce au détriment des autres. Ce phénomène concerne les espèces indigènes mais également, de plus en plus souvent, les espèces exotiques.

La prolifération des plantes exotiques est due à leurs performances végétatives, supérieures à celles des plantes indigènes, et à l'absence de prédateurs. De plus, elles disposent d'un fort pouvoir de régénération et de dispersion (bouturage, graines) qui leur confère une capacité de dissémination sur de vastes territoires. Pour de plus amples détails, il convient de se reporter au guide cité en référence (MATRAT et coll., 2004).

a) Les plantes aquatiques

Leur prolifération conduit à l'envahissement de tout ou partie des cours d'eau, des canaux et des fossés. Ceux-ci perdent leur capacité hydraulique ainsi qu'un certain nombre de leurs fonctionnalités biologiques.

Les espèces actuellement concernées sont, par ordre de fréquence :

- les jussies (Ludwigia peploides, Ludwigia grandiflora) ;
- le myriophylle du Brésil (Myriophyllum aquaticum) ;
- l'égeria (Egeria densa) ;
- le lagarosiphon (Lagarosiphon major) ;
- l'élodée de Nutall (Elodea nuttallii) (Muller, coord., 2005).

Afin d'éviter que les curages ne constituent une source de dispersion de ces plantes, il convient de prendre les précautions suivantes :

- Les biovolumes qui doivent être enlevés peuvent être limités par l'emploi d'herbicides homologués. Leur application doit être réalisée par un personnel formé et certifié (contacter le ONEMA CSP et le service de la protection des végétaux de la DRAF). Ces produits stoppent la croissance des plantes et, dans quelques cas, les tuent. Des spécialités commerciales des deux matières actives (glyphosate et dichlobénil) sont homologuées dans les milieux aquatiques pour l'année 2005, mais ces homologations peuvent être modifiées tous les ans et il faudra donc vérifier l'état de la réglementation sur ce point à chaque projet d'intervention. Ces produits sont toxiques et peuvent présenter des effets notables sur la flore non visée et sur la faune inféodée au milieu aquatique. De plus, leur efficacité à tuer l'intégralité des plantes (feuille, tige et rhizome) est réduite, surtout dans le cas d'espèces comportant des réseaux de tiges ramifiées et des systèmes racinaires importants et profonds. Il ne s'agit donc souvent que d'un affaiblissement temporaire permettant un arrêt de la croissance et un dépérissement des parties érigées (tiges et feuilles) facilitant ainsi l'enlèvement. Avant d'employer cette méthode, il convient d'évaluer l'avantage ainsi obtenu par rapport aux dommages causés par l'emploi de l'herbicide sur le milieu aquatique.



- Il va de soi que les curages devront avoir lieu lorsque les herbiers sont détectables, c'est-à-dire entre juillet et novembre.

- Dans les fossés en eau, il faudra s'assurer de la non-dispersion des boutures au fil de l'eau en déployant au préalable des filets amont et aval de petite maille (<1 cm) et en récupérant régulièrement les boutures ainsi récoltées.

- L'exportation en dehors de la zone humide des boues de curage pouvant contenir graines, rhizomes ou tiges de ces espèces peut être une solution pour éviter leur reprise ultérieure dans les dépôts habituellement régalés en bordure de parcelle. Hormis l'élévation des coûts liée au transport de ces boues, les possibilités de reprise ne sont d'ailleurs pas totalement écartées, sauf en milieu sec et contrôlé. Une incinération ou un séchage demeurent les seules solutions pour détruire les graines et les parties végétatives.

- En cas de non-exportation, il faut au préalable arracher les parties végétatives (au godet ou à la griffe) puis les exporter. Ensuite, le curage va enlever une grande partie des rhizomes (et des graines, dans le cas de la jussie). Les boues doivent être étalées en couche fine (<10 cm) pour permettre le séchage rapide et réduire les reprises. Un arrachage manuel ou un traitement chimique avec produit autorisé sur sol est alors possible. L'étalement des boues doit se faire avec précaution, au sommet du bourrelet de berge, côté intérieur de la parcelle à plus de 2 m, pour que l'égouttage ne renvoie pas des fragments dans les fossés. Il faut être très prudent si la parcelle a un fond humide car **des exemples de colonisation de prairies humides par les jussies après dépôts de plantes arrachées dans les fossés en Aquitaine et en Bretagne montrent bien les risques d'une imprudence dans ce domaine.** Il est préférable d'épandre sur la parcelle de l'autre côté du fossé curé. Des techniques de petits bourrelets de terre réalisés d'un seul côté ou de part et d'autre du ruban d'épandage peuvent être mises en œuvre, mais elles nécessiteront une reprise pour aplanissement des reliefs quelques mois plus tard.

- Avant de quitter un chantier infesté, il est indispensable que le pelleteur s'assure qu'il ne reste aucun fragment de jussie sur son engin (godet, bras de pelle, chenillettes). Un nettoyage des engins avec récolte des fragments est indispensable. Les autres plantes exotiques de la liste précédente sont moins susceptibles de s'installer dans d'autres sites après transport par les engins de travaux, mais il est néanmoins préférable de procéder à un enlèvement rapide des fragments les plus visibles sur ces engins. Enfin, la capacité des jussies à produire des graines viables pouvant développer des plantules doit obliger les gestionnaires à une surveillance accrue des secteurs de marais ou de fossés dans lesquels des interventions de curage et/ou de régulation de ces plantes ont été réalisées.



b) Les plantes de rives

Les renouées (Fallopia Japonica et Fallopia sacchalinensis, herbacées pérennes de taille arbustive) et le baccharis (Baccharis halimifolia, arbuste) affectionnent les rives et les berges. Outre le fait qu'ils compliquent l'accès aux rives et ferment le paysage, leur présence est indésirable. La présence d'arbustes de baccharis en aplomb peut occasionner des trous de berges lorsqu'ils sont abattus par le vent. La présence des renouées en futaies rend les sols de berges instables (concurrence et exclusion des autres végétaux par excrétions chimiques au niveau des racines) et facilement fouissables et destructibles par les crues.

Originaire d'Amérique du Nord, le baccharis s'adapte fort bien aux marais côtiers et résiste au sel. Sa forte capacité de reproduction (végétative et sexuée) permet à celui-ci de coloniser rapidement le terrain en évinçant les plantes halophiles et mésohygrophiles (dégradation des habitats et du paysage) et nuit souvent aux activités humaines (coupe-vent inopportun dans les marais salants). La colonisation peut être réalisée rapidement et sur de grandes superficies grâce aux graines facilement transportables par les vents.

La destruction des baccharis bordant les fossés et les canaux doit donc être préconisée (arrachage des jeunes plants, coupe et traitement des souches, voire dessouchage et exportation pour destruction). Un important travail de mise au point d'un ensemble de protocoles adaptés à la lutte a été réalisé récemment (Cockx E-M., 2004). Dans la mesure du possible, les interventions devront être réalisées avant la période de production des graines pour réduire les capacités de colonisation des plantes concernées par les travaux.

Originaires d'Asie, les renouées affectionnent les lisières boisées ou les abords dégagés des cours d'eau. Leur destruction par une seule coupe renforce la vivacité du rhizome rampant et multiplie les rejets. Cette pratique isolée doit donc être proscrite. Toutefois, une pression d'entretien répétée par trois passages dans la saison de végétation durant plusieurs années permet de réduire très significativement la dynamique des bosquets. Les autres végétaux reprennent alors le dessus. Le glyphosate a par ailleurs été testé avec succès, mais la non-sélectivité de cet herbicide rend son application complexe dans les fourrés denses comportant d'autres espèces.

4.7.3. *Les animaux*

Certaines espèces animales sont susceptibles de provoquer des déséquilibres biologiques ou physiques majeurs. Une opération de curage efficace peut également être compromise par l'impact d'espèces allochtones introduites par l'homme. Il est donc important de réduire les dégradations qu'elles occasionnent en coordonnant les travaux avec des programmes de régulation.





Il est important que le linéaire curé ait pu être débarrassé au maximum des espèces animales envahissantes. Le curage mécanique peut, d'une part, occasionner des blessures sans mort expéditive (enfermement, écrasement partiel, blessures) que l'éthique impose de réduire. D'autre part, le fait de - s'être débarrassé au préalable de ces organismes sur le site en travaux peut réduire sensiblement les chances de réinstallation par les survivants (sans toutefois réduire la colonisation à partir de secteurs voisins, si les interventions de régulation ne sont pas globales).

Le ragondin (Myocastor coypus), le rat musqué (Ondatra zibethicus) et les écrevisses américaines (Procambarus clarkii, Orconectes limosus, Pacifastacus leniusculus) sont aujourd'hui les principales espèces responsables de nuisances bien identifiées : d'une part, ces espèces creusent des terriers, déstabilisent les rives et accélèrent le comblement des fossés par les déblais ; d'autre part, elles peuvent réduire à sa plus simple expression la présence d'hélophytes et d'hydrophytes, sans compter les ravages réalisés sur les cultures (maïs, blé, etc.).


Source : Forum des Marais Atlantiques

Fig.33. Berges minées et affaiblies par les terriers d'écrevisses de Louisiane.

Les moyens de contrôle de ces populations existent pour les mammifères. Le piégeage et le tir doivent être encouragés afin de relayer les méthodes chimiques désormais prohibées et qui n'ont pas réussi à enrayer le phénomène.

Le classement de ces espèces dans la catégorie «nuisible» entraîne une obligation de lutte prise en charge le plus souvent par les groupements de défense contre les organismes nuisibles. La stratégie de gestion évolue actuellement vers une meilleure connaissance de la dynamique de ces populations en vue d'adapter et de mieux localiser les efforts de lutte.

En ce qui concerne les écrevisses, il n'existe pas de classement en nuisible, mais le transport de ces animaux vivants est interdit. Les méthodes de piégeage par nasses donnent de bons résultats (si leur utilisation est maintenue sur des durées importantes et de manière coordonnée sur une vaste échelle) sans toutefois réduire notablement les populations, qui semblent plus sensibles aux fluctuations du climat. Leur progression est aujourd'hui considérable dans bon nombre de milieux et les moyens de lutte demeurent encore peu efficaces. Il n'existe pas de stratégie globale de gestion de ces espèces.







5 • Des travaux accompagnés d'une bonne gestion des niveaux d'eau

La richesse et l'originalité biologique et paysagère des marais reposent, entre autres, sur une bonne gestion de l'eau. Les travaux d'entretien du réseau y participent, mais la durabilité du résultat en terme de capacité hydraulique et de propriétés écologiques dépend des modalités de cette gestion hydraulique.

Un curage adapté est un outil efficace permettant avant tout d'optimiser la réactivité de gestion des niveaux d'eau. Une meilleure capacité tampon permet une inertie accrue des niveaux d'eau, favorables à la stabilité des berges et aux biotopes. Le gestionnaire qui souhaite préserver l'investissement réalisé à travers le curage est intéressé à limiter autant que possible les marnages, et les à-coups hydrauliques, à l'échelle de l'ensemble de son réseau (cela demeure souvent inévitable à proximité des ouvrages). Nous avons vu en effet que ce sont des facteurs qui aggravent et accélèrent l'érosion et le comblement et qui, dans certains cas, rendent caducs à court et moyen terme (quelques semaines à quelques mois) des travaux de réfection de berges soignés.

De nos jours un certain nombre de dispositions ont été prises afin d'aller dans ce sens. En Charente Maritime, par exemple, des cotes moyennes ont été établies au niveau de nombreux syndicats de marais en accord avec la Diren pour adapter la gestion des niveaux d'eau aux contraintes saisonnières de chaque unité hydraulique, tout en prenant en compte les objectifs environnementaux. De telles dispositions sont intéressantes dans la mesure où une certaine souplesse demeure nécessaire. Cette approche à l'échelle de la gestion syndicale prend toute son importance en étant replacée dans le contexte de l'ensemble de la zone humide et de son bassin versant. Les SAGE devraient y contribuer.

6 • Sources de financement

Les syndicats de marais sont financés par des impôts (taxe de marais) levés sur la propriété non bâtie. Ils ont notamment à leur charge l'entretien du réseau et la gestion de l'eau. Leur rôle est déterminant. Ils financent les travaux sur leurs fonds propres et sont régulièrement aidés par des collectivités locales (Région, Département), par l'Europe (fonds structurels ou Life) ou par les Agences de l'Eau.

Dans le cadre d'opérations de type «Grand Site « ou au titre de Natura 2000, l'Etat (la DIREN) peut également intervenir à hauteur de 50% du montant des travaux. Les Parcs Naturels Régionaux, les institutions interdépartementales de bassin (EPTB) ou les syndicats mixtes à vocation hydraulique peuvent faciliter et assurer la cohérence de la mise en œuvre des programmes de curage.



L'exploitant, propriétaire ou fermier, peut contractualiser avec l'Etat afin d'obtenir des aides financières dans le cadre des Mesures Agri-Environnementales (MAE). Depuis les années 1990, certaines mesures comme les Opérations Groupées d'Aménagement Foncier Agriculture/Environnement (OGAF A/E) ou les Contrats Territoriaux d'exploitations (CTE) avaient prévu des aides directes, dans un cadre individuel ou collectif, sur une base comprise entre 25 et 300 euros/ha/an. En raison de restrictions budgétaires, les mesures récentes comme le Contrat Agriculture Durable (CAD) ne prévoient pas, pour le moment ce type d'aides au curage. Ce contexte peut évoluer.

L'Agence de l'Eau Adour-Garonne

Dans le cadre de sa politique d'intervention en faveur des zones humides, l'Agence de l'Eau Adour- Garonne est susceptible d'apporter des aides financières à la gestion des fossés dans la mesure où ces travaux contribuent au maintien des conditions hydrauliques favorables à la conservation du site.

Cependant, ces travaux ne sont éligibles que s'ils sont portés par un maître d'ouvrage de type collectivité territoriale, établissement public ou association gestionnaire de sites et lorsque le site en question a fait l'objet d'un plan de gestion.

L'Agence de l'Eau Loire-Bretagne

Les actions de restauration et d'entretien des zones humides ne sont éligibles que si elles s'incrivent dans un cadre contractuel.

Le contrat restauration entretien des milieux aquatiques (CRE-ZH) est l'outil de mise en œuvre des actions pendant 5 ans. Il peut être complété par un dispositif complémentaire d'une durée de 5 ans (voir fiche contrat auprès de l'Agence).

Le lien entre fonctionnalités de la zone humide et aspects qualitatifs et quantitatifs de la ressource en eau devra être établi.
Concernant les zones humides rattachées à une masse d'eau, seront retenues les actions corrigeant les altérations fonctionnelles au titre :

- de l'hydromorphologie en lien avec le cours d'eau,
- de la pollution diffuse en lien avec le bassin versant,
- de la qualité des eaux littorales.

Les actions de gestion des sites pourront concerner :

La restauration



- par des travaux de rétablissement d'un fonctionnement hydraulique et biologique proche des conditions naturelles sur les sites de tourbières, marais, annexes hydrauliques, espaces de divagation des cours d'eau, anciennes gravières, fonds de vallées, prairies, boisements fluviaux.





- par des actions de restauration d'ouvrages stratégiques (ouvrages hydrauliques structurants qui contrôlent la gestion des niveaux d'eau des unités hydrauliques cohérentes dans le marais. Les actions d'entretien courant d'ouvrages ne sont pas éligibles). Il est nécessaire de disposer d'un règlement d'eau. Il doit faire la preuve des gains fonctionnels pour la zone humide ou l'unité hydraulique cohérente sous influence de la gestion de l'ouvrage. C'est à dire que toute action visant à gérer les niveaux d'eaux pour un simple objectif de maintien voire conduisant à la dégradation fonctionnelle de la zones humide (par exemple, améliorer l'évacuation hydraulique = désennoyer le marais) n'est pas éligible par l'agence.
- par des travaux de restauration de berges, avec des techniques en génie végétal, visant à des gains fonctionnels, et à condition d'agir sur les causes d'altération à l'origine de perturbation (par exemple, les protections de berges déstabilisées au droit d'une route ne sont pas finançables par l'agence). Les travaux de renforcement des berges ou de protection de berges en dur (y compris pieux en bois mort), ne sont pas éligibles.

L'entretien

- par des actions de curage courant « vieux fond - vieux bord » (prise en compte sur le réseau primaire et secondaire systématiquement comme de l'entretien permanent).

La restauration et l'entretien :

- Par des actions de gestion des espèces envahissantes.

7 • La réglementation

La réglementation à laquelle il faut se référer figure dans le Code de l'Environnement. Seul un petit nombre d'éléments correspondant à des préoccupations très courantes sont fournis ci-après. Il convient de se renseigner au près de la DDAF, du CSP et de la DIREN pour disposer du cadre réglementaire complet auquel se conformer.

Loi sur l'eau (articles L 210-1 à L 218-80)

L'entretien régulier des cours d'eau selon le principe « vieux fond-vieux bords » n'est pas soumis à une réglementation particulière. La rubrique 4.1.0. du décret n° 93-743 du 29 mars 1993 soumet à **autorisation administrative** l'assèchement et le remblaiement de zones humides ou de marais d'une superficie supérieure ou égale à 1 ha. Quand la surface de la zone est comprise entre 1 000 et 10 000 m^2, le maître d'ouvrage doit faire une **déclaration** au Préfet du département. Ainsi, le





comblement de fossés, mares ou «baisses» par des produits de curage dont le dépôt aurait été mal préparé tombe sous le coup de cette réglementation.

La création de canaux dont la section est supérieure à 10 m² (rubrique 2.5.1.) est soumise à **autorisation**.

En dehors des voies navigables, si le curage des cours d'eau hors "vieux fond-vieux bords" engendre un volume annuel de boues supérieur à 5 000 m3 (rubrique 2.6.0.), une **autorisation administrative** est nécessaire. Si le volume est supérieur à 1 000 m³ mais inférieur à 5 000 m³, une simple déclaration suffit.

Ces dispositions permettent de bien inscrire les travaux dans le cadre d'un entretien de l'existant. Le maître d'ouvrage sortant de ce cadre s'expose rapidement aux sanctions prévues dans la loi sur l'eau.

Il convient de se référer à l'article fondateur L 211-1 du code de l'Environnement sur la gestion équilibrée de la ressource en eau pour obtenir des informations générales, ainsi qu'aux articles L 214-1 à 3 sur les régimes d'autorisation et de déclaration (décret du 29 mars 1993 de la Loi sur l'eau).

Loi sur la protection de la Flore et la Faune (articles L 411-1 à L 415-5)

De nombreux arrêtés ministériels fixent des listes d'espèces de mammifères, de mollusques, d'insectes, d'amphibiens et de reptiles protégés. Quatre nouveaux arrêtés interministériels du 16 décembre 2004 ont été publiés. Désormais, les articles 1ers précisent l'interdiction de destruction, d'altération ou de dégradation du milieu de vie de ces espèces. Ainsi, tout comblement, assèchement, destruction de zones humides ou de marais où vivent ces espèces est interdit, sauf autorisation exceptionnelle délivrée par l'autorité administrative.

Pour plus d'informations, se référer à l'article L 432-3 sur la protection des frayères et des zones de croissance ou d'alimentation.

Servitude de passage

Le décret n° 59-96 du 7 janvier 1959 institue une servitude de passage pour les engins mécaniques affectés au curage des cours d'eau non navigables ni flottables (cas de l'ensemble des canaux d'intérêt collectif).

Pour plus d'informations, se référer à l'article L 215-14 sur les devoirs du riverain.

Réglementation des plantations

Le décret n° 60-419 du 25 avril 1960 complète le décret précédent en précisant que les plantations effectuées sur les terrains soumis à la servitude de passage doivent faire l'objet d'une autorisation préfectorale.

Obligation prévue par les baux à ferme :

L'article L.415-12 du Code Rural énonce très clairement que «toute disposition des baux restrictive des droits prévus au titre du livre quatrième du Code Rural, est réputée non écrite».

Le bailleur est quasiment mis dans l'impossibilité d'introduire dans le contrat des clauses protégeant l'environnement.

Toutefois, le bailleur (Loi n° 95-101 du 2 février 1095), peut s'opposer entre autre à la disparition de rigoles, dans la limite du fonds loué, pour regrouper plusieurs parcelles attenantes, à compter de la date de l'avis de réception de la lettre recommandée envoyée par le preneur (Fermier). Cette disposition permet au propriétaire de contrôler partiellement le devenir de son réseau hydraulique.

Travaux d'intérêt général

Il faut noter l'importance de l'outil DIG pour le maître d'ouvrage. En effet, la Déclaration d'Intérêt Général donne à la collectivité compétence pour intervenir sur le domaine privé (article L 211-7 du code de l'environnement)

Pour plus d'informations :

Guide juridique pratique «Eau et Foncier» (2002).
Direction Régionale de l'Environnement Languedoc-Roussillon.
Réalisation B. Ledoux Consultants.

www.legifrance.gouv.fr

Note :

Les entrepreneurs qui interviennent dans des travaux de curage doivent demander au maître d'ouvrage une copie de l'ensemble des autorisations ou récépissés de déclaration administrative, s'ils existent.

En effet, les tribunaux ne reconnaissent pas de simples décharges verbales ou écrites pour dédouaner les entreprises de toutes responsabilités en cas d'infraction.

Références Bibliographiques

Agence de l'eau Adour-Garonne *(1994). Guide technique de l'entretien régulier des rivières. Rivières environnement, 88 p.*

Baron G., des Touches h. *(1998). Etude environnementale préalable aux travaux de réhabilitation du réseau hydraulique de la basse vallée du Lay. Rapport d'étude de Association de Défense de l'Environnement en Vendée, 38 p.*

Baudet J., Dehat E., Masse J., Rigaud C., Thomas A. *(1999). Curage et fonctions biologiques des fossés des marais littoraux - marais breton et marais poitevin. Ed. Forum des Marais Atlantiques, 111 p.*

Baudon C *(1995). Ecologie des Chironomidae (Diptera, Nematocera) d'un marais charentais : structure spécifique, phénologie et densité des populations d'adultes. Thèse de doctorat. Muséum d'Histoire Naturelle - Université de Rennes I, 170 p.*

Carpentier A., Paillisson J-M, Marion L., Feunteun E., Baisez A., Rigaud C. *(2003). Evolution d'une population de bouvières (Rhodeus sericeus) dans un réseau de douves façonné par l'homme. C.R. Biologies (Ed. Elsevier), 326, 166-173.*

COCKX E.-M. *(2004). Lutte contre la prolifération d'une espèce envahissante sur la presqu'île de Guérande : le Baccharis halimifolia. Mémoire de Fin d'études INP - ENSAT, 63 p + annexes.*

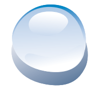
Deat E., des Touches H *(1998). Etude environnementale préalable aux travaux de réhabilitation du réseau hydraulique sur la commune de Vouillé-les-Marais. Rapport d'étude. Association de Défense de l'Environnement en Vendée, 21 p.*

Deat E., des Touches H *(1998). Etude environnementale préalable aux travaux de réhabilitation du réseau hydraulique du Syndicat Mixte du Marais Poitevin. Rapport d'étude. Association de Défense de l'Environnement en Vendée, 53 p.*

Diren Pays de la Loire *(1995). Inventaire du Patrimoine Naturel (Marais Poitevin-Vendée), Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique (Z.N.I.E.F.F).*

Erard M., des Touches H. *(1997). Etude préalable à la réhabilitation du réseau hydraulique des marais mouillés des communes de Nalliers, Mouzeuil-Saint-Martin, Le Langon. Rapport d'étude. Association de Défense de l'Environnement en Vendée, 43 p.*

Feunteun E., Rigaud C., Elie P., Lefeuvre J-C. *(1992). Le marais doux endigué de Bourgneuf- Machecoul (Pays de Loire). Premiers éléments de connaissance du peuplement piscicole. Relation ichtyofaune-habitat et problèmes majeurs de gestion. Revue des Sciences de l'Eau, 5, 509-528.*



Matrat R., Anras L., Vienne L., Hervochon F., Pineau C., Bastian S., Dutartre A., Haury J., Lambert E., Gilet H., Lacroix P., Maman L. *(2004). Gestion des plantes exotiques envahissantes en cours d'eau et zones humides. Guide technique. Ed. Comité des Pays de la Loire pour la gestion des plantes exotiques envahissantes - Forum des Marais Atlantiques, 67 p.*





Mulhauser B., Monnier G. *Guide de la faune et de la flore des lacs et des étangs d'Europe. Ed Delachaux et Niestlé.*

Muller S., *coord. (2005). Plantes invasives en France. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 176 p. (Patrimoines naturels, 62).*

Lachat B. *(1994). Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales. Ed. DIREN Rhône-Alpes, Ministère de l'Aménagement, du Territoire et de l'Environnement, 143 p.*

Larinier M., Travade F., Porcher J.P., Gosset C. *(1993). Passes à poissons : expertise et conception des ouvrages de franchissement. Ed. du Conseil Supérieur de la Pêche, 336 p.*

Ramade F., *(1998). Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. Ediscience International, Paris.*

Rigaud C., Masse J., Dutartre A., Merle V. *(1996). Programme NORSPA/Baie de Bourgneuf. Restauration du réseau secondaire du marais doux. Cemagref - rapport de synthèse, 15 p.*

Rigaud C., Masse J., Feunteun E., *(2000). L'ichtyofaune et la diversité des milieux aquatiques en marais littoral géré en eau douce. Colloque ARAMIS «Structure, fonctionnement et évolution des marais littoraux atlantiques», La Rochelle, 13 p.*

Thomas A., *(2001). Etude environnementale préalable aux travaux de réhabilitation du réseau hydraulique des prises de Triaize (Vendée) 2001-2006 - Rapport d'étude. Association de Défense de l'Environnement en Vendée, 17 p.*

Thomas A., *(2001). Etude environnementale préalable aux travaux de réhabilitation du réseau hydraulique des grands marais de St Michel-en-l'Herm (Vendée) 2001-2006 - Rapport d'étude. Association de Défense de l'Environnement en Vendée, 19 p.*

Thomas A., *(2002). Etude environnementale préalable aux travaux de réhabilitation du réseau hydraulique du syndicat mixte du Marais Poitevin, bassin de la Vendée, de la Sèvre et des Autizes - Rapport d'étude. Association de Défense de l'Environnement en Vendée, 36 p. Annexe cartographique et descriptive des prescriptions particulières, 33 p.*

Unima, *(2003). Protocole d'entretien ou de restauration du réseau hydraulique et de ses ouvrages annexes en marais doux, 12 p.*

Verger F., *(1994). Un micro-relief provoqué par l'alternance dessiccation/humidification : les gilgais. Synthèse - Sécheresse n°3, vol. 5. Ecole Normale Supérieure. (p. 211 à 218).*

Williams D.D., Hynes H.B.N. *(1976). The recolonization mechanisms of stream benthos. Oikos, 27 (2) : 265-272.*



Allochtone : *espèce introduite, contraire d'autochtone*

Amphibiens : *classe des vertébrés aquatiques regroupant les grenouilles, crapauds et tritons.*

Approche : *aménagement évasé en pente douce permettant l'accès au fossé pour l'abreuvement du bétail.*

Atterrissement : *processus à l'issue duquel le fond d'un fossé/canal atteint le niveau des berges.*

Baisse : *partie basse des prairies naturelles humides, creusée naturellement par les courants marins de l'ancien golfe des Pictons. Secteur inondé plus longuement que l'ensemble de la prairie et colonisé par une végétation hygrophile différente du reste de la prairie.*

Batardeau : *nom donné aux petits barrages en marais. Ils peuvent être établis temporairement avec de la terre ou de l'argile pour des travaux ou il peut s'agir d'un ouvrage à seuil de planches pour réguler des étagements différents entre plusieurs compartiments de marais.*

Biocénose : *ensemble des organismes vivants, animaux et végétaux qui occupent le même biotope.*

Biotope : *milieu naturel aux composantes physico-chimiques spécifiques.*

Bord d'attaque : *rive du canal ou du fossé recevant le début du coup de godet de la pelleteuse.*

Bord d'approche : *rive opposée au bord d'attaque par laquelle l'engin de curage arrive. Le godet de l'engin termine sa course de ce coté. Cette bordure reçoit généralement le produit de curage.*

Cosses : *partie basse du tronc des arbres traités en têtard qui supporte les brins coupés régulièrement (les essences ainsi traitées dans la région sont principalement les frênes).*

Dystrophisation : *rupture de l'équilibre naturel d'un milieu lacustre par l'apport d'effluents putrides urbains, agricoles et industriels.*

Eutrophisation : *enrichissement naturel d'une eau en matières organiques en raison de la prolifération et de la dégradation de végétaux aquatiques. On remarque un appauvrissement de la teneur en oxygène des eaux profondes.*

Evapo-transpiration : *processus qui regroupe l'évaporation de l'eau à partir du sol et la transpiration/respiration des végétaux.*

Halophytes : *plantes qui poussent en milieu salé.*

Hélophytes : *plantes qui poussent « les pieds dans l'eau, la tête au soleil «, que l'on retrouve le long des berges ou dans le fond des fossés atterris et qui supportent des périodes d'exondation.*

Hydrophytes : *espèces végétales vivant en permanence dans le milieu aquatique.*

Hygrophytes : *plantes qui affectionnent les milieux humides.*

Macrophytes : *terme générique désignant toute plante visible à l'oeil nu.*

Odonates : *ordre d'insecte qui regroupe les anisoptères (libellules) et les zygoptères (demoiselles).*

Plantes adventices : *espèces végétales spontanées et pionnières, considérées comme indésirables.*

Ripisylve : *boisement qui pousse le long des cours d'eau.*



Annexe 1

Code des habitats que l'on rencontre en marais côtiers

Note : *Les codes proviennent de Corine biotope - version - originale - types d'habitats francais - 1997. Les codes Corine suivis de * sont déterminants. Des remarques sur les types de milieux ou leur localisation suivent la désignation de l'habitat et le code.*

• Habitats des marais sub-saumâtres thermo-atlantiques

- Végétation à scirpes halophiles, **code 53-17***, bords de fossés, en marais sub-saumâtre, bassins des anciens marais salants.
- Fourrés de tamaris, **code 44-813**, haies de tamaris le long des canaux (influence saumâtre)

• Habitats des marais doux

- Lisières humides à grandes herbes, **code 37-7**, dans les vallées en bordure de rivière.

• Habitats de zones humides

- Phragmitaies, **code 53-11***, roselières en plein ou en bordure de cours d'eau.
- Typhaies, **code 53-13***, notées uniquement en grandes étendues.
- Roselières basses, **code 53-14***, divers hélophytes des bords des cours d'eau.
- Végétation à *Glyceria maxima* (grande glycérie), **code 53-15***, le long des cours d'eau sans influence salée.
- Communauté à *Butomus umbellatus* (jonc fleuri), **code 53-415**, quand il est présent en quantité importante.
- Végétation à *Hippuris vulgaris* (pesse d'eau), **code 53-149***, aujourd'hui très raréfié.
- Groupement à *Bidens tripartita* (bident tripartite), **code 22-33.**



• Habitats des milieux humides

- Eaux eutrophes, **code 11**, l'ensemble du réseau hydraulique du marais poitevin.
- Végétation aquatique flottant librement, **code 22-41**, tapis de lentilles, grenouillette.
- Végétation enracinée immergée, code 22-42, divers potamots.
- Communauté flottante des eaux peu profondes, **code 22-432**, formations à renoncules et callitriches, fossés, abreuvoirs.
- Eaux oligo-mesotrophes calcaires à characées, **code 22-44***, dans certains canaux et certaines mares.
- Communautés amphibies - végétation annuelle des vases exondées, **code 22-3.**



Les végétaux des fossés et des canaux

1• Les hélophytes

Sur les marais littoraux atlantiques, on rencontre habituellement une quinzaine d'espèces d'hélophytes : *Iris pseudacorus, Phragmites australis, Glyceria maxima, Typha latifolia, Typha angustifolia, Scirpus lacustris, Butomus umbellatus, Scirpus maritimus, Sparganium erectum, Carex riparia, Eleocharis palustris, Juncus inflexus, Juncus subnodulosus, Juncus conglomeratus* (marais breton), *Juncus effusus* (marais breton), *Phalaris arundinacea.*

En règle générale, ces plantes ne sont pas protégées. Certaines sont rares, comme *Juncus subnodulosus* (présente sur le secteur de Chaillé-les-Marais, dépt. 85), d'autres sont en voie de raréfaction comme *Butomus umbellatus, Scirpus lacustris, Sparganium erectum.*

Nous citerons également les hélophytes non inféodées aux berges mais que l'on rencontre parfois au centre des fossés lorsque ceux-ci sont en phase d'atterrissement : *Glyceria fluitans, Apium nodiflorum, Apium inundatum, Nasturtium officinale, Sium latifolium, Oenanthe aquatica, Alisma lanceolatum, Alisma plantago aquatica, Rorippa amphibia, Sagittaria sagittifolia.*

Quelques espèces fluviatiles peuvent pousser au bord de l'eau et être protégées. C'est le cas d'une espèce d'euphorbe *(Euphorbia palustris)* qui est protégée en Région Pays de la Loire.

2• Les hydrophytes fixées

Certaines des hydrophytes fixées que l'on rencontre sur les fossés sont protégées. Il s'agit, entre autres, de *Ceratophyllum submersum,* que l'on peut rencontrer dans les fossés mais plus fréquemment dans les mares ou les abreuvoirs fermés (au moins dans le cas du marais poitevin).

D'autres espèces sont protégées à l'échelle régionale, notamment en Pays de la Loire et en Poitou-Charentes (attention : à vérifier pour la Normandie, la Bretagne, l'Aquitaine etc.) comme le faux nénuphar *(Nymploides peltata).* Cette espèce est aujourd'hui très localisée.

Certaines espèces ont tellement régressé qu'elles sont aujourd'hui classées en espèces prioritaires (Tome I) de la liste rouge «Flore menacée de France» et en Annexe II de la Directive 92/43 dite "Natura 2000". Pour exemple, une fougère aquatique appelée *Marsilia* quadrifolia est inscrite sur ces listes.
Ces stations peuvent être aujourd'hui tellement réduites que la moindre intervention mécanique sans précaution peut compromettre leur existence de façon irréversible.





L'herbier à characée est un groupement cité par la nomenclature « Corine Biotope « des habitats européens et actuellement inscrit sur la liste provisoire des habitats déterminants pour les Pays de la Loire.

Les espèces que l'on rencontre communément sont les suivantes :

- *Ceratophyllum demersum L.* (cornifle nageant) : On le rencontre dans les eaux stagnantes ou faiblement courantes. Il se développe dans les eaux des canaux, étangs et rivières eutrophes à mésotrophes à forte concentration ionique, voire saumâtre. Il affectionne les sols fins organiques ou minéraux. On le rencontre habituellement jusqu'à un mètre de profondeur. Il peut proliférer par faible luminosité et colonise rapidement un milieu.
- *Elodea canadensis Michaux* (élodée du Canada) : Elle se développe aussi bien dans les eaux stagnantes que dans les eaux à courant modéré, voire à courant rapide. Elle aime les eaux eutrophes à presque oligotrophes et un sol fin à moyen, minéral ou organique ou formé d'alluvions. Dans les eaux calmes, elle pousse entre 0,3 et 1 mètre de profondeur.
- *Myriophyllum spicatum L.* (myriophylle en épis) : Il colonise les eaux méso-eutrophes à eutrophes (conductivité > 150 mhoms), relativement claires et à courant modéré à rapide. Le myriophylle préfère les endroits bien éclairés, d'une profondeur inférieure à un mètre et dont le fond comporte une certaine proportion d'alluvions.

On rencontre également *Potamogeton crispus L., Potamogeton pectinatus L., Zannichellia palustris L., Ranunculus sp. (aquatique), Callitriche obtusengula.*

3• Les hydrophytes flottantes

Les espèces communément rencontrées sont les suivantes :

- *Hydrocharis morsus-ranae L.* (hydrocharis des grenouilles) : Il se trouve dans les eaux stagnantes ou faiblement courantes, mésotrophes à eutrophes, à forte alcalinité et non polluées. Il peut former des colonies quasi-impénétrables, empêchant ainsi la pénétration de la lumière dans l'eau.
- *Lemna gibba L.* (lentille d'eau gibbeuse) et *Lemna minor L.* (petite lentille d'eau) : Ces deux lentilles se trouvent principalement dans les eaux stagnantes douces ou légèrement saumâtres et tolèrent assez bien la pollution.
- *Lemna trisulca L.* (lentille trilobée) : Cette espèce recherche les eaux alcalines et pures dans lesquelles elle nage entre deux eaux ; c'est la seule lentille d'eau submergée. On la rencontre dans les lacs, les fossés et les bassins mésotrophes.
- *Spirodela polyrhiza (L.)* Schleid. (lentille d'eau à plusieurs racines) : Elle prolifère dans les lacs, les bassins et les fossés qui n'ont pas de courant, dans des eaux mésotrophes à eutrophes d'un pH supérieur à 7 et bien éclairées. Elle tolère mal les pollutions.



Annexe 3

Les végétaux de berges et de prairies humides

Des espèces peuvent être protégées au niveau national comme *Ranunculus lingua* (grande douve) ou *Damasonium alisma* (étoile d'eau).

Certaines espèces sont rares comme *Apium inundatum, Sium latifolium, Sagittaria sagittifolia Apium inundatum, Sium latifolium, Sagittaria sagittifolia Apium inundatum, Sium latifolium, Sagittaria sagittifolia Apium inundatum, Sium latifolium, Sagittaria sagittifolia.*

Plus rarement et dans des situations précaires, certaines plantes de la prairie humide peuvent coloniser les abords des fossés, notamment lorsque ceux-ci présentent des pentes douces ou des relations avec les baisses. On peut ainsi rencontrer des espèces intéressantes telles que la renoncule à feuille d'ophioglosse et le trèfle de Michélie, deux espèces protégées.

En sommet de berge, lorsque celle-ci est en position haute par rapport à la prairie, l'iris batard peut être présent. Cette plante est également protégée.

Les communautés d'hélophytes basses à grande glycérie, à rubanier, etc. sont retenues dans la liste provisoire des habitats déterminants pour les Pays de la Loire (habitats de la nomenclature Corine biotope, pris en compte dans les inventaires des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique et Faunistique, avril 1997).



Remerciements

Le Forum des Marais Atlantiques tient particulièrement à remercier pour leur aimable collaboration et l'accueil réservé aux auteurs de cet ouvrage, les personnes suivantes :

- **SuzanneBastian,** Service des Milieux Aquatiques à la Direction Régionale de l'Environnement des Pays de la Loire (DIREN).
- **Alain Dutartre,** du Cemagref de Cestas (33), UR Qualité des Eaux.
- **Christophe Egreteau,** Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO).
- **Freddy Hervochon,** Agence de l'Eau Loire-Bretagne, délégation de Nantes.
- **Sylvie Jégo,** Agence de l'Eau Adour-Garonne, délégation de Bordeaux.
- **JacquesMassé,** du Cemagref de Cestas (33), UR Ressources Aquatiques Continentales.
- **RolandMatrat,** Service des Milieux Aquatiques à la Direction Régionale de l'Environnement des Pays de la Loire (DIREN).
- **Gérard Nicolleau,** Direction Départementale de l'Agriculture de Vendée.
- **Laurent Vienne,** Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Orléans.
- **Loïc Cario,** Service des Milieux Aquatiques à la Direction Régionale de l'Environnement de Poitou-Charentes (DIREN).
- **ChristianRigaud,** du Cemagref de Cestas (33), UR Ressources Aquatiques Continentales.
- **François-Xavier Robin,** de l'Union des Marais de la Charente Maritime (Syndicat mixte UNIMA).
- **Hervé de Villepin,** Compagnie d'Exploitation des Ports (CEP).



Contacts

ADEV (Siège Social)
La Cartrie
85 170 BEAUFOU
Tél : 02 51 31 32 61

ADEV Sud-Vendée
9 bis, rue de Gaulle
85 580 Saint-Denis-du-Payré
Tél : 02 51 27 23 92
E-mail : adev.rn.conservation@wanadoo.fr

Forum des Marais Atlantiques
Quai aux Vivres - BP 40214
17304 Rochefort Cedex
Tél : 05 46 87 08 00
E-mail : fma@forum-marais-atl.com

Diren Pays de la Loire
3, rue Menou - BP 61219
44012 Nantes Cedex 1
Tél : 02 40 99 58 00
E-mail : diren@pays-de-la-loire.ecologie.gouv.fr

UNIMA
89, boulevard André Sautel
17026 La Rochelle
Tél : 05 46 34 34 10
E-mail : unima@wanadoo.fr

Ligue pour la Protection des Oiseaux
La Corderie Royale - BP 90263
17305 Rochefort Cedex
Tél: 05 46 82 12 34

DDAF Vendée
14, place de la Vendée - BP 787
85020 La Roche-sur-Yon Cedex
Tél : 02 51 45 85 00

Agence de l'Eau Loire-Bretagne (Siège social)
Avenue de Buffon - BP 6339
45063 Orléans Cedex 2
Tél : 02 38 51 73 73

Agence de l'Eau Loire-Bretagne
(Délégation Ouest-Atlantique)
1, rue Eugène Varlin - BP 40521
44105 Nantes Cedex 04
Tél : 02 40 73 06 00

Agence de l'eau Adour-Garonne
(Délégation de Bordeaux)
Rue du Professeur André Lavignolle
33049 Bordeaux Cedex
Tél : 05 56 11 19 99
E-mail : deleg-bordeaux@eau-adour-garonne.fr

CEMAGREF
50, avenue de Verdun - BP 3
33612 Cestas Cedex
Tél : 05 57 89 08 00
E-mail : info@bordeaux.cemagref.fr

Compagnie d'Exploitation des Ports
6, rue de l'Océan - BP 1322
44213 Pornic Cedex
Tél : 02 51 74 15 65

"Marais Mode d'emploi"

…une nouvelle collection pour les gestionnaires de zones humides littorales

Edités par le Forum des Marais Atlantiques avec le concours technique et financier des Agences de l'Eau Adour-Garonne et Loire-Bretagne, les guides « Marais Mode d'emploi » inaugurent une nouvelle collection de documents pratiques dédiés aux techniciens et opérateurs responsables de la gestion de zones humides littorales.

Il s'agit d'apporter une réponse pratique aux demandes des acteurs en marais qui souhaitent disposer de documents simples et ergonomiques pour faire face aux multiples et diverses interrogations posées par l'entretien et la gestion de ces milieux complexes.

Le choix du format de classeur de petite taille permet d'en extraire des fiches pour pouvoir facilement les manipuler et les actualiser. Le traitement de la couverture et du papier offre une résistance qui autorise de les emporter sur le terrain.

Nous souhaitons que cette nouvelle collection du Forum des Marais Atlantiques atteigne son objectif de traiter de manière pratique des questions et problématiques particulières aux marais et zones humides côtières, avec des solutions techniques qui leur sont spécifiques. Toutes vos remarques seront les bienvenues pour faire évoluer cet outil et l'ajuster aux préoccupations des acteurs de terrain.

Le comité éditorial







Directeur de la publication
Bernard Grasset (FMA)

Directeur de la collection "Marais Mode d'emploi"
Yves Le Maître (FMA)

Rédacteurs
Loïc Anras (FMA)
Christophe Chastaing (UNIMA)
Sergiy Ilchenko (FMA)

Relecture
Alain Gallicé (Aestuarium)
Fernand Verger (ENS)

Comité éditorial
Sophie Dagnaud (Conseil général de Vendée)
Freddy Hervochon (Agence de l'eau Loire-Bretagne)
Sylvie Jégo (Agence de l'eau Adour-Garonne)
Dominique Tesseyre (Agence de l'eau Adour-Garonne)
Laurent Vienne (Agence de l'eau Loire-Bretagne)

Maquette
Diagraphe

2007

Références pour citations :
Restauration et entretien des berges d'étiers en marais salés (2007).
Anras L., Chastaing C. ; Ilchenko S., Collection « Marais Mode d'emploi »,
Ed. Forum des Marais Atlantiques, Xp.

Avec l'aimable contribution technique et scientifique de l'UNIMA



Le Forum des Marais Atlantiques est un syndicat mixte présidé par Bernard Grasset,
maire de Rochefort et Conseiller Régional de la région Poitou-Charentes

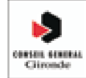
Directeur : Yves Le Maître

Avec le soutien des membres permanents du Forum des Marais Atlantiques :

















Préambule

Ce guide répond à la demande des maîtres d'ouvrages en marais côtiers qui désirent disposer d'éléments d'aides à la décision pour l'entretien des berges en marais salés.

Cet ouvrage est le fruit de la collecte d'expériences pratiques et d'échanges techniques avec des ingénieurs et des techniciens de terrain.

Il existe encore à ce jour peu de documents qui traitent spécifiquement des particularités des sols et des matériaux qui conditionnement des aménagements de qualité pour ces milieux.

Ce premier guide vise donc à sensibiliser non seulement aux enjeux de l'entretien de ces corridors aquatiques, mais aussi à éclairer les choix et la réflexion des maîtres d'ouvrage dans leurs projets techniques. Il apparaît en effet désormais important pour chacun d'intégrer la dimension écologique et paysagère dans les travaux de réhabilitation et d'entretien.

Sommaire

Introduction

L'édition d'un guide sur l'entretien et la restauration des berges d'étiers en marais salés peut paraître surprenante, tant les techniques à employer apparaissent évidentes de prime abord. En effet, depuis plus d'une cinquantaine d'années, des matériaux modernes et résistants on fait leur apparition. Leur mise en œuvre est en outre facilitée par la mécanisation. Ils ont semblé jusqu'ici répondre au mieux à la demande de confortement. Béton, murs et enrochements semblent présenter tous les avantages attendus : robustesse, durabilité.

Aujourd'hui, le constat d'artificialisation croissant que l'on peut faire face au recours constant à ces méthodes, conduit à promouvoir des dispositifs plus respectueux de leur environnement, dans la mouvance des techniques végétales. Ils mettent en oeuvre des matériaux tels que le bois et les géotextiles.

Les gains par rapport à un enjeu écologique et paysager n'ont malheureusement pas été à la hauteur des attentes en matière de confortement des berges. En effet, le manque d'expérience face à la nouveauté de ces pratiques dans ces milieux (substrats argilo-limoneux soumis à de forts contraintes physiques), les rend fréquemment peu durables. Ceci tient au fait que la mise en œuvre a rarement été testée auparavant dans de telles conditions.

Il apparaît donc nécessaire aujourd'hui de poser le débat en proposant une lecture des gains attendus pour l'éventail relativement restreint de ces techniques. Il convient d'en éclairer les aspects de fonctionnalité physique (résistance), écologique (fonctions fondamentales) et paysagères (esthétique). Cette mise en perspective d'un ouvrage dans son environnement devrait **permettre au décideur de mieux apprécier les solutions qui lui sont proposées, et d'améliorer la qualité de ses échanges techniques avec le maître d'œuvre et le prestataire.**



introduction (suite)

Le guide s'attachera donc à traiter successivement trois points :

- La connaissance des fonctions des étiers, et les gains attendus de leur entretien des points de vue écologique et fonctionnel,
- La liste des méthodes de génie qui s'appliquent dans ces milieux avec des indications sur leurs avantages et inconvénients. Des critères descriptifs viendront compléter le tableau pour rattacher chaque méthode à l'une ou l'autre catégorie de génie civil ou de génie écologique,
- Les points à surveiller pour une bonne mise en œuvre, à travers l'analyse du contexte.

Source : FMA

Paysage d'étier aménagé en zone conchylicole

Il faut aussi insister sur le fait qu'il ne s'agit pas de fournir ici un ensemble de recettes qui s'appliqueraient partout. Les principes énoncés sont d'ordre général. Chaque site est particulier et doit faire l'objet d'une approche et d'un diagnostic spécifiques, préalables à tout aménagement.

C'est enfin un document qui souhaite inspirer la reprise de pratiques de diagnostic susceptibles d'améliorer le fonctionnement général et l'état de santé des milieux aquatiques, délaissés dans de nombreuses zones par manque de moyens. Ce guide insiste sur le fait que les activités productives et récréatives en marais doivent pleinement assumer leurs rôles, et remplir des fonctions écologiques essentielles dans l'évolution positive de ces paysages et de ces écosystèmes.



1 • Caractéristique des paysages et des milieux

> 1.1 Les paysages


Source : FMA

Etier à basse mer

Les étiers constituent des bras de mer s'enfonçant dans les marais. Ils s'apparentent aux estuaires en raison de l'existence de gradients de salinités plus ou moins prononcés, et de l'intensité des flux qui y circulent. Ils s'en distinguent par leur gabarit nettement plus faible (quelques dizaines de mètres à quelques mètres de large) et du fait qu'ils drainent souvent une partie d'un marais salés ou d'un marais doux. De grandes quantités d'eau de mer et d'eau douce ou dessalée empruntent ainsi ces méandres, dans un sens et dans l'autre. C'est le cas dans les étiers des marais de Seudre, par exemple.

Toutefois, il est très fréquent d'appeler « étier » les chenaux maritimes de cours d'eaux qui se jettent dans des baies en traversant – souvent entre deux rangées de digues - de vastes espaces de marais. Leur physionomie se rapproche des étiers mais leurs fonctionnalités écologiques sont différentes puisque, très souvent ils ne drainent ou alimentent pas seulement les marais, mais véhiculent aussi des eaux de bassins versant. Les flux qui les parcourent sont donc essentiellement continentaux. C'est le cas de l'« étier » de Sallertaine dans le marais Breton, par exemple.

La physionomie des étiers est marquée par leur caractère sinueux. Leur dessin est hérité des méandres naturels qui drainaient les zones humides côtières - prés salés et vasières - qui furent jadis endigués et gagnés sur la mer.

Les étiers ont été très souvent artificialisés et parfois rectifiés au cours des siècles. Les activités humaines ont tenté constamment de figer un dessin qui est très mouvant au naturel. Les courants de marée connaissent des vitesses très variables qui peuvent atteindre 2 m/s, et génèrent des dépôts et des érosions très importants.


Source : FMA

Tamaris et roseaux bordent la zone amont de cet étier.

Jadis les exploitants se sont installés derrière les rives rehaussées de digues (bassins salicoles, bassins pour l'élevage des poissons ou des coquillages). Il a donc fallu maîtriser les mouvements d'érosion et de dépôts du lit et des rives des étiers qui mettaient en péril les efforts des exploitants.

Ces enjeux ont nécessité une intense pression d'entretien qui eut pour effet de figer un état naturellement instable. Cela perdura jusqu'à aujourd'hui.

Les eaux qui empruntent les étiers sont souvent de couleur marine à verte, ou beige. Ce sont des eaux riches en éléments nutritifs et chargées de sédiments arrachés au lit de l'étier. Souvent très turbides, elles transportent une vie intense.

Le paysage des abords des étiers est très caractéristique : ce sont des rives bosselées, formées de l'accumulation des résidus de curage au cours des siècles. Les berges présentent une végétation halophile rase en bas de berge et herbacée au dessus. Peu d'arbres poussent en milieu salé : on rencontre parfois des haies de tamaris plus ou moins continues. Les plantations sont peu pratiquées dans les marais salants où leur effet coupe-vent nuit à une évaporation optimale. Elles sont plutôt effectuées dans les marais à poissons où elles constituent des protections efficaces contre les vents froids. Elles forment aussi des refuges pour la faune sauvage (oiseaux et petits mammifères). Les propriétaires plantent souvent les tamaris pour des considérations paysagères et esthétiques.



> 1.2 L'écologie aquatique des étiers

Lien direct entre l'estuaire ou les eaux côtières et de vastes marais en eau, les étiers constituent des **zones où transitent** de nombreuses espèces aquatiques. Ce sont aussi des **zones de vie** pour un certain nombre d'espèces peu mobiles ou enfouies.



Source : FMA

L'eau circulant dans les étiers véhicule un contingent considérable d'espèces à toutes saisons. Certaines nagent activement, d'autres se laissent entraîner passivement par le flot. Lorsque les ouvrages ouverts permettent de « faire boire » le marais, ces espèces gagnent les chenaux et bassins du marais et peuvent, selon le cas, y survivre et s'y développer. Un certain nombre d'entre elles n'effectue qu'un cycle d'aller-retour à la faveur de marées consécutives, lorsque l'on « varangue » (renouvellement d'eau pour rincer le marais). D'autres s'y maintiennent, en étant piégées derrière des ouvrages adaptés, ou simplement par choix de résidence dans ces habitats. D'autres enfin n'y survivent pas forcément (espèces sténohalines ou sténothermes[1]) et contribuent à l'intense régénération de la matière organique qui se produit sur les fonds vaseux du marais. Les niveaux de salinité changeants que l'on rencontre selon les endroits d'un même marais permettent à une gamme variable d'espèces d'occuper l'espace. Les peuplements de différents marais salés ne se ressemblent donc pas forcément en fonction de leurs niveaux de confinement et de salure. (figure 1, figure 2).

Les sédiments fins des fonds marins abritent ordinairement un nombre considérable d'invertébrés, dits benthiques[2]. Un grand nombre de groupes d'invertébrés n'existent d'ailleurs que dans ce compartiment.

La rudesse des conditions de vie des étiers en font des habitats peu accueillants et réduit notablement la biodiversité des organismes « fixés ». De plusieurs centaines d'espèces marines, on passe à quelques dizaines adaptées à la dessalure et aux conditions très contraignantes des marais.

Dans les marais et les étiers, ce sont beaucoup d'organismes de très petite taille qui réalisent la majeure partie de la régénération du vivant. De plus le rapport de

[1] Espèces qui vivent dans une frange étroite de variation de salinité ou de température.
[2] Espèces qui vivent sur le fond de l'océan

la productivité sur la biomasse est toujours supérieur à 2, voire 3. Cela signifie qu'il y a un nombre important de générations qui se succèdent sur des périodes de temps courtes. Les biomasses, bien qu'invisibles restent élevées. Elles sont installées dans la vase qui constitue le support principal. Il s'agit de diatomées (microalgues), de bactéries, de vers et de crustacés de petite taille, qui demeurent toutefois cantonnés à la frange superficielle (1 cm) du sédiment. Lorsqu'il s'agit de fonds coquilliers et sableux, la biomasse s'accroît encore et s'étend alors jusqu'à 10-15 cm en profondeur. Il existe souvent de nombreuses lentilles de déchets coquilliers sur les fonds des étiers, ce qui contribue aussi à leur biodiversité.

L'étier bénéficie d'une humectation continue de ses rives grâce au retour de la marée deux fois par jour. Contrairement aux cours d'eau qui connaissent des dessiccations en période d'étiage, les étiers conservent une étanchéité relative due aux argiles saturées d'eau qui les tapissent (la conductivité hydraulique dans les vases n'est que de l'ordre de quelques dixièmes de millimètres par jour). Ainsi les **berges maintiennent un rôle d'isolation** efficace vis à vis des compartiment adjacents.

L'ouverture latérale vers ces compartiments s'effectue donc par des ouvrages aux dimensions adaptées aux besoins en eau. La vie aquatique en marais salé est donc majoritairement sous l'influence de la gestion des ouvrages.

**L'humectation des sols des marais salés provient de l'eau de mer en provenance des étiers, et en partie des précipitations.
Si la capacité hydraulique des étiers vient à se modifier (comblement, ralentissement), tous les compartiments qui en dépendent subiront des changements hydriques qui impacteront sur l'écologie des marais (adoucissement de l'eau, durées de confinement, etc.).**

1.2.1 La flore végétale, la flore microbienne

La flore visible est composée à la fois d'algues et de végétaux supérieurs. Les algues arrivent dans l'étier sous formes de fragments de thalle ou de spores, mais seul un petit nombre d'espèces se développe dans les étiers : ulves, entéromorphes sont les plus opportunistes et poussent quand les eaux stagnent en amont ou dans des bras morts des d'étiers. Sur la partie élevée des rives, là où le courant s'affaiblit, ce sont les spartines qui s'implantent et favorisent la sédimentation. Un peu plus haut encore, dans la zone recouverte par les grandes marées, le schorre s'étend en un mince cordon avec la salicorne, l'obione et la soude. Enfin en partie haute de la rive, l'on trouve une végétation herbacée halophile. En amont des étiers, là où la dessalure est suffisante, les berges peuvent accueillir des roseaux (phragmites) et une flore de rives plus classique rencontrée dans les marais en eau douce et subsaumâtres.

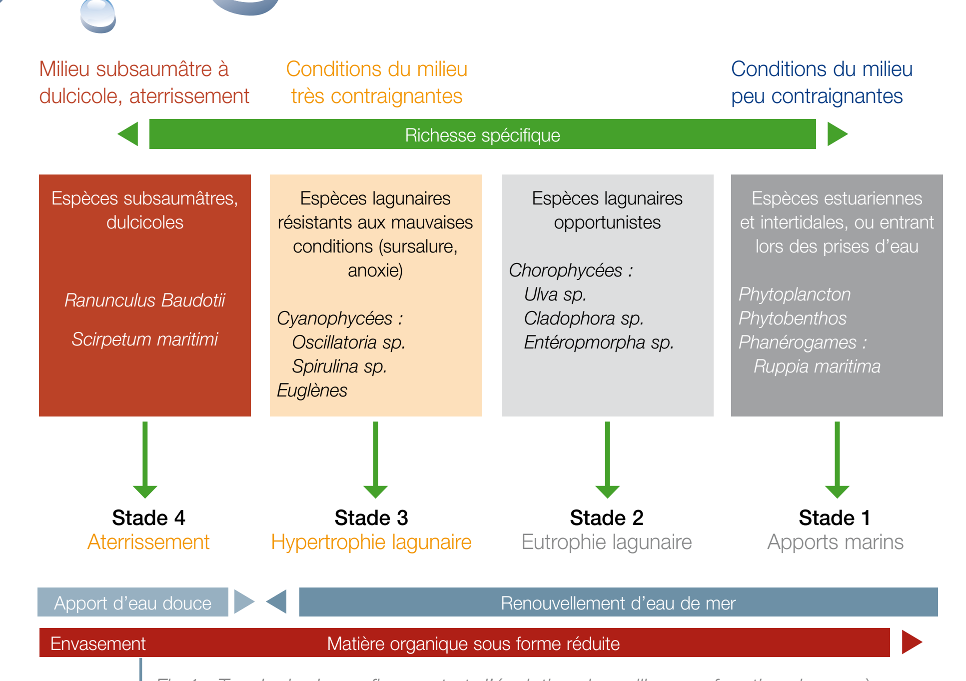
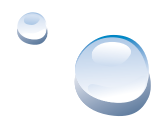


Fig.1 : Typologie de confinement et d'évolution des milieux en fonction des espèces végétales rencontrées. (Source FMA, CREMA L'Houmeau)

La «flore» invisible constitue un maillon végétal incontournable. C'est en effet surtout à cette échelle que s'effectue l'essentiel de la production et du recyclage de la matière vivante. Il s'agit d'une boucle microbiologique complexe mettant en œuvre aussi bien des bactéries (extrêmement nombreuses que l'on désigne couramment sous le vocable de «flore»), qu'une faune microscopique composée d'amibes, ciliées et flagellées.

Les diatomées, algues unicellulaires entourées d'une enveloppe de silice très caractéristique, constituent le groupe dominant. On les trouve associées au groupe des euglènes, dans les zones plus confinées. Toutes ces espèces forment ce film coloré qui recouvre les vases, avec des teintes variant du vert pâle au brun noirâtre, en passant par le rose. Ces ensembles sont répartis en taches plus ou moins vastes ou localisées, par développement opportuniste (autour d'une algue, d'un déchet organique…). Ils sont très actifs sur toute l'épaisseur des sédiments oxydés et poreux (de quelques millimètres dans les vases à quelques centimètres dans les fonds sablo-vaseux à sableux). Ces cellules et organismes savent même migrer de bas en haut dans le sédiment pour suivre le rythme des marées ou de la lumière.



1.2.2 La faune

Toute une gamme d'animaux fréquentent les étiers et en constituent des occupants caractéristiques (Tableau 1).

Tab. 1 : espèces fréquentant les étiers des marais salés (Source L. Anras)

Habitat / mobilité	Embranchement, Groupe	Genre et espèce
Espèces enfouies	Crustacés	*Cyathura carinata*
	Mollusques bivalves	*Cerastoderma glaucum, Abra ovata*
	Polychètes	*Nereis diversicolor*
	Spionidés	*Polydora sp., Scolelepis sp.*
	Cirratulidés	*Streblospio sp.*
Espèces mobiles	Poissons	*Anguille (Anguilla Anguilla),* *Epinoche (Gasterosteus aculeatus),* *Syngnathe (Syngnathus rostellatus)* *Mulets (Mugil spp),* *Bar (Dicentrarchus labrax),* *Daurade (Sparus aurata),* *Plie (Pleuronectes platessa),* *Flet (Platichthys flesus),* *Soles (Solea spp),* etc.
	Insectes hétéroptères	*Corizes*
	Crustacés	*Palemonetes varians, Carcinus maenas*
Espèces liées aux *Ruppia* et aux algues	Crustacés	*Sphaeroma hookeri, Idotea viridis*
	Mollusques	*Hydrobia ventrosa, juvéniles de Cerastoderma glaucum*
Espèces fixées sur support dur (vases dures, bois, roche, amas coquillers, déchets de Ruppia)	Crustacés	*Balanus improvisus*
	Polychètes (motiles)	*Mercierella enigmatica*
	Actinies (motiles)	*Cereus pedunculatus, Diadumene luciae*
	Bryozoaires	*Conopeum seurati*

Les étiers sont fréquentés à la fois par des espèces marines et dulcicoles, mais aussi par des espèces typiques de lagunes à large variation de température et de salinité.

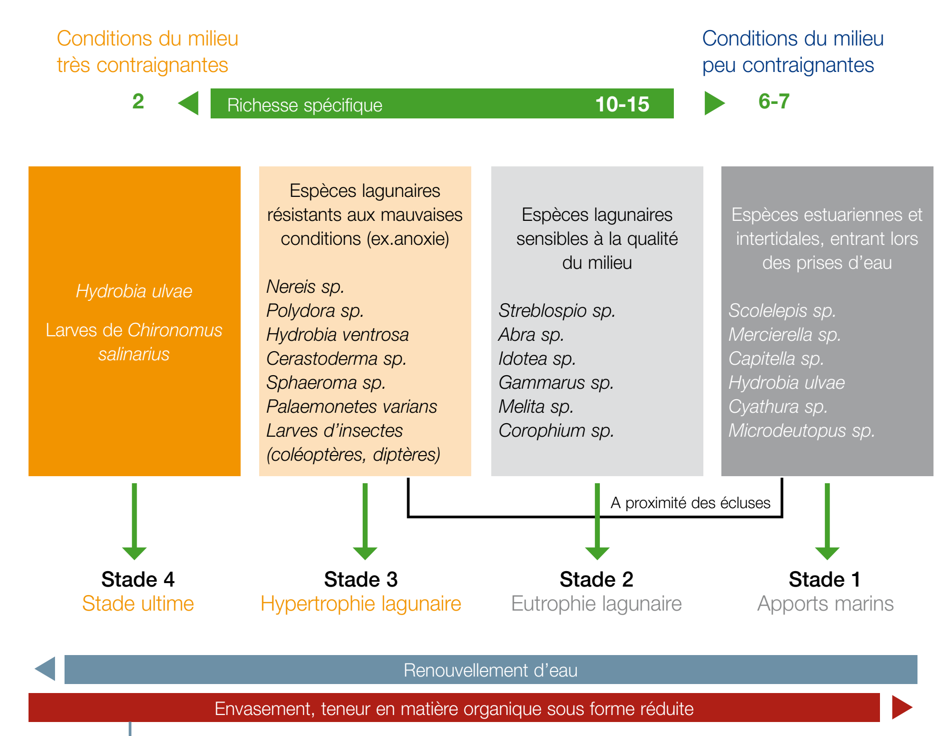


Fig.2 : Typologie de confinement des milieux en fonction des espèces animales benthiques rencontrées. (Source FMA, d'après Labourg, Thimel et Auby, IUBM Arcachon, Cemagref Cestas)

Parmi les 26 espèces de poissons fréquentant les marais doux et saumâtre atlantiques[3], seuls 4 y réalisent leur cycle complet de vie : gobie *(G. microps)*, épinoche *(G. aculeatus)*, syngnathe *(S. rostellatus)* et athérine *(A. boyeri)*. Les autres sont des hôtes plus ou moins temporaires. Les plus emblématiques sont les anguilles qui peuvent y effectuer toute ou partie de leur croissance.

Un autre hôte très connu est la crevette d'estuaire Palemonetes varians qui fait l'objet d'une pêche de loisir, et qui est aussi un élément important de la chaîne alimentaire.

[3] *Rigaud C., Massé J., Feunteun E. (2000). L'ichtyofaune et la diversité des milieux aquatiques en marais littoral géré en eau douce. Colloque ARAMIS "structure, fonctionnement et évolution des marais littoraux atlantiques", à La Rochelle. 13 p.*





> 1.3 Les gains attendus de l'entretien

Les marais maritimes sont sous l'influence de deux marées quotidiennes à forte amplitude. Face à la tendance naturelle au déplacement du cours de l'étiers, les hommes ont été contraints de renforcer les zones d'érosion et de draguer les zones de dépôt. Le tracé s'est ainsi trouvé figé au cours de l'histoire.

Pendant ce temps, derrière ces corridors hydrauliques une intense activité s'est développée : l'exploitation lucrative du sel en bassins, et une économie de subsistance (l'élevage et des cultures vivrières sur les bosses issues des résidus de curage des bassins).

La diversité écologique qui a résulté de ces aménagements fut certainement modifiée par apport à la situation initiale. On peut considérer qu'elle ne constitue pas en soit une altération significative, comme en témoigne encore aujourd'hui la profusion d'espèces que l'on y rencontre. Les propriétés fonctionnelles et biologiques du marais (productivité et biodiversité) demeures tributaires du bon état des étiers, en tant que corridors biologiques.

Désormais, les maîtres d'ouvrage locaux considèrent que l'entretien est indispensable pour protéger les activités et les personnes, et pour assurer le bon fonctionnement hydrologique des marais en respectant le caractère patrimonial de l'ensemble.

1.3.1 L'enjeu hydraulique

L'entretien et la restauration des étiers doivent satisfaire en premier lieu à l'adduction d'eau de mer en quantité et qualité suffisante (fonction hydraulique) pour les compartiments hydrauliques qu'ils desservent. Ces opérations jouent également d'autres rôles importants : elles doivent garantir la cohésion des rives et des digues ainsi que leur imperméabilité relative.

Une bonne présence d'eau sur toute la longueur de l'étier est importante, puisque la dessiccation est donc le premier ennemi des berges en argile. Il faut rappeler que le dessèchement des argiles conduit une berge à se rétracter en produisant des fentes de dessiccation pouvant atteindre 1 mètre de profondeur. Rapides à se créer (quelques semaines), il faut beaucoup plus de temps pour qu'elles ne se résorbent. La permanence de l'humectation est donc essentielle, à travers les mouvements des marées.

Par ailleurs, l'hétérogénéité du cours de l'étier favorise son érodabilité. Un décrochement (promontoire, éboulis), ou un obstacle (ponton, déchets…) créé des turbulences fortement érosives. Ainsi, tout travail d'entretien pour réduire les décrochements le long du profil restreint de lourds travaux de restauration par la suite. De même, les variations de sections induisent des ralentissements ou des accélérations génératrices d'érosions et de dépôts.

Ces variations sont à corriger si elles résultent d'aménagements antérieurs dont l'impact aurait été insuffisamment étudié.

1.3.2 *L'enjeu écologique*

La notion de corridor est employée fréquemment aujourd'hui pour caractériser les fonctions de certains cours d'eau. Cette notion s'applique tout particulièrement pour tous les étiers : c'est indéniablement un lieu de transfert et de flux d'eau et d'espèces.

Ce rôle purement quantitatif sur l'eau a des effets qualitatifs indéniables sur les espèces. Les étiers sont des lieux de renouvellement constant de l'eau. Ils desservent des ouvrages qui permettent de gérer des niveaux de confinement et de renouvellement adéquats selon les usages.

Mais le rôle des étiers ne se réduit pas à cela. Il s'agit aussi de **milieux de vie**, comme nous l'avons vu dans le chapitre 1.2. Ces milieux comprennent des habitats naturels avec des portions plus ou moins longues remaniées et artificialisées. Généralement, les parties amont présentent un tracé moins mouvant que les parties aval et connaissent donc une moindre artificialisation. Les embouchures des étiers, au contraire, sont beaucoup plus artificialisées. Cela peut potentiellement provoquer un comportement d'évitement (organismes sensibles et capables de résister au courant de flot : poissons, mollusques, crustacés). Cet évitement peut résulter de la rupture du chemin de progression (changements de substrats à profondeur plus ou moins constante le long du cheminement), ou simplement résulter de l'effet de certains substrats (sensation de vulnérabilité accrue, face à des stimuli sensoriel, sonore, visuel et olfactif stressants) (Figure 3).

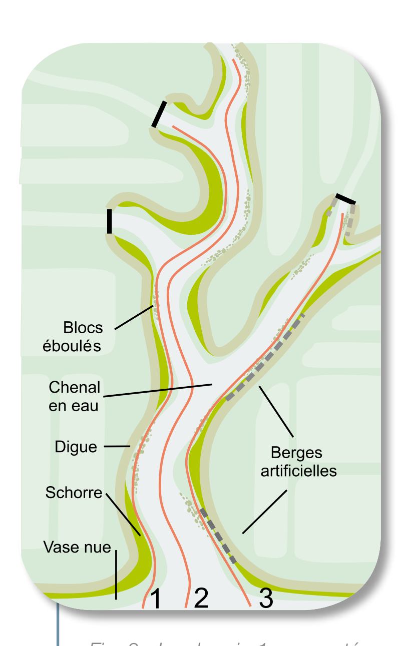
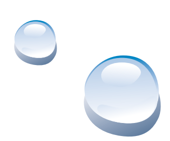


Fig. 3 : Le chemin 1 emprunté par un poisson présente une alternance de substrat vaseux, de schorres et d'éboulis. Le Chemin 2 se trouve en pleine eau. Le chemin 3 longe la rive opposée avec des substrats artificiels à près de 30%, susceptibles d'induire un comportement d'évitement. La réalité des comportements de nage est variée : les animaux peuvent fréquenter alternativement rive et lit de l'étier. (Dessin L. Anras FMA).



Il peut en résulter une altération de **la fonction de nourricerie** du marais pour un certain nombre espèces, et/ou **de fonction d'habitats** permanents et temporaires dans les étiers et dans les compartiments hydrauliques du marais. Cela peut influer finalement sur la productivité de la zone côtière pour les espèces dont la croissance est dépendante du marais, mais cela reste à démontrer.

>OBSERVATION : Il existe peu d'études d'impacts de l'artificialisation des étiers sur les dynamiques de peuplement en marais salés atlantiques.

Le respect des habitats est une préoccupation récente que les maîtres d'ouvrage prennent en compte désormais de plus en plus souvent. Les aménagements proposés dans les marais depuis quelques années visent à l'emploi de techniques dites « douces », c'est-à-dire qui utilisent des matériaux organiques (bois) et/ou respirants (géomembranes, géonattes). Ces pratiques souvent intuitives visent une intégration accrue et la plus discrète possible dans la berge, tout en offrant des substrats plus accueillants. Nous verrons plus loin ce que l'on peut en penser, et discuterons à nouveau des questions d'habitats.

1.3.3 L'enjeu paysager et esthétique

L'enjeu paysager prend une place croissante dans les choix de restauration de berges et dans la mise en œuvre de l'entretien. En effet, que cela soit le long d'une berge ou à proximité d'un ouvrage d'art, la forme générale, les matériaux et le parement constituent autant de critères visuels pouvant satisfaire ou choquer le regard.

Même si le temps et la patine apportent leur contribution dans l'intégration paysagère, certaines réalisations peuvent conserver un caractère disgracieux. D'autres structures, bien que très visibles conservent un aspect esthétique particulièrement apprécié. Certaines enfin peuvent entièrement disparaître, « recolonisées par » sous les sédiments ou la végétation, et ne seront plus l'objet d'aucunes critiques.

Le sens de l'esthétique étant une perception subjective et variable selon les époques et les cultures, il est donc délicat de formuler des règles générales.

Il est fondamental de considérer un ouvrage dans son histoire, puisque l'aspect et l'esthétique de celui-ci seront variables dans le temps.

Aujourd'hui, le bois est un matériau perçu positivement lorsqu'il est neuf et légèrement patiné, mais il est considéré comme inesthétique lorsqu'il est noirci ou gris. Les enrochements et le béton sont souvent dénigrés lorsqu'ils sont neufs, mais peuvent se faire parfois oublier en s'intégrant discrètement sous une couche de vase et de terre, ou sous la végétation des berges. Par contre, les moellons des murs présentent un aspect rustique, généralement fort appréciés neufs comme vieux, bien que l'on admette qu'ils soient souvent moins résistants que les roches et certains bétons.

Ainsi, dans un projet, si l'on ne veut pas être déçu, il faut faire un exercice d'imagination pour se projeter dans un avenir où l'aménagement aura pris sa patine (en espérant qu'il conserve cet aspect le plus longtemps possible), afin d'en faire l'objectif attendu en début de projet.

Cela appelle ainsi un véritable travail de paysagiste. Celui-ci s'attachera à prendre en compte dès les premiers stades du projet l'intégration et les transitions de matières entre le minéral et l'organique, et l'évolution de ceux-ci dans le temps.

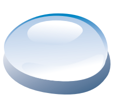
Une telle démarche peut être déterminante pour un choix technique qui appellerait parmi ses priorités ce critère esthétique.

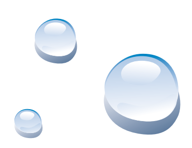
>OBSERVATION : il est courant de constater que le résultat esthétique est subi plus que voulu. De telles situations pourraient être évitées en demandant la collaboration d'un paysagiste dès le cahier des charges pour une meilleure prise en compte de la dimension esthétique. Une telle démarche participe désormais de manière conséquente au degré de satisfaction que l'on est en droit d'attendre d'un projet d'aménagement.

1.3.4 L'enjeu de gestion des coûts

Malgré l'importance croissante accordée au critère paysager et aux performances écologiques de l'aménagement, il apparaît raisonnable d'opérer un choix sur un critère uniquement esthétique, qui risquerait de grever le budget, sans que ne soient au moins garanties la durabilité et l'efficacité physique de l'aménagement.

Par contre, la solution tentante qui consiste à retenir l'offre la moins chère peut être envisagée uniquement si le savoir-faire de l'opérateur est démontré à travers d'autres réalisations. Il ne faut pas hésiter à contacter d'autres maîtres d'ouvrage pour recueillir leur impression et leur satisfaction.



Il demeure toutefois difficile de se faire une opinion fiable sur la durabilité de techniques qui ont été intégrées très récemment dans les travaux en marais.

Il existe des techniques dites traditionnelles et des techniques modernes. Les techniques traditionnelles présentent l'avantage d'avoir fait leurs preuves en terme de durabilité et d'intégration paysagère. Attention toutefois, chaque site est différent et nécessite donc préalablement à toute intervention une réflexion spécifique, pour valider le bien fondé et l'utilisation de tel ou telle technique. Une technique qui convient bien à un site donné n'est pas forcément transposable à un autre site. Il faudra pour cela, dans la plupart des cas, avoir recours à une mission d'ingénierie.

Les techniques modernes font appel à des matériaux plus élaborés ou à des techniques de mises en œuvre spécifiques, qui sont elles-mêmes le fruit de l'ingénierie. Le recul sur la fiabilité de ces techniques est variable. Il faut simplement retenir qu'elles peuvent être économiquement avantageuses si une réflexion de qualité préside au choix d'adaptation.

De fait, une étude diagnostic préalable bien faite doit aboutir à une solution prioritaire, voire quelques solutions qu'il est possible de comparer sur des critères objectifs (avantages et inconvénients, coût, impact environnemental et paysager…)

Il faut ajouter que, désormais, les co-financeurs (Etat, collectivités régionales et départementales, Agences de l'Eau, Union européenne), sont particulièrement sensibles à une solution la plus complète possible intégrant quasi-obligatoirement un diagnostic qui détermine des choix respectueux des fonctions naturelles de l'étier.

Les solutions techniques décrites au chapitre 4 sont assorties d'une fourchette de coûts rapportés au mètre linéaire de berge. Il faut toutefois considérer qu'il s'agit d'enveloppes de prix moyennes que divers facteurs peuvent influencer : disponibilité de matériaux, accessibilité et contexte du chantier, conditions de mise en œuvre, mécanisation, pour les plus importants.



2 • Prendre en compte les contraintes hydrauliques

Il existe trois types de contraintes hydrauliques pouvant se cumuler, qui conditionnent la déstabilisation et l'érosion :

- la vitesse du courant, liée aux régimes hydrauliques,
- la charge en matières en suspension,
- l'énergie liée aux vagues et au batillage.

> 2.1 Les vitesses de courants et les régimes hydrauliques

Le pouvoir érosif direct de l'eau est proportionnel à la vitesse du courant et à son caractère plus ou moins turbulent. A débit équivalent, un écoulement laminaire est moins érosif qu'une eau agitée de tourbillons.

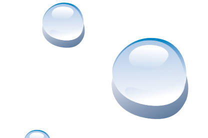
Les courants sont laminaires dans la majeure partie de la tranche d'eau des étiers. Mais chaque sinuosité et irrégularité des fonds, chaque connexion à une vanne et décrochement de rive, ainsi que les obstacles (pontons, buses, etc.) sont des sources de turbulences.

L'érosion est causée par l'énergie cinétique des molécules d'eau, des solutés et des éléments figurés (particules, macro-déchets, voire organismes). Les dépôts sont causés par la perte de pouvoir de mise en suspension lors de la baisse de cette énergie.

Tous les étiers ne connaissent pas les mêmes vitesses de courant. Certains sont couramment parcourus par les eaux de vidange des marais qui se cumulent avec le volume oscillant de la marée dans l'étier : cette augmentation de charge occasionne des courants puissants vers la mer et provoque des vitesses accrues, surtout vers la fin du jusant (jusqu'à 2 m/s). Il en est de même en sens inverse, lorsque les marais « boivent » aux grandes marées. Entre ces deux situations tous les régimes se rencontrent, notamment en fonction du type d'usage principal de la zone de marais connectée à l'étier. En effet, le régime hydraulique est différent selon qu'il s'agit :

- d'un marais salant avec des prises tous les 15 jours,
- d'un marais à poissons avec des prises / vidanges tous les mois,
- d'un marais ostréicole avec des prise/vidanges bimensuelles.

Des étiers peuvent donc se réduire à charrier majoritairement de l'eau de mer, ou bien un mélange plus ou moins important d'eau de mer et d'eau saumâtre ayant séjourné dans le marais.



> 2.2 La charge en matières en suspension

Les dépôts sont causés par la perte de portance du fluide lorsque son énergie diminue. L'énergie est proportionnelle à la vitesse. Les dépôts les plus grossiers, tels que les graviers et les débris coquillers se font avec des vitesses encore élevées (plusieurs dizaines de cm/s) et les dépôts les plus fins comme les mollins avec des vitesses très faibles à nulles.

Les particules animées par le courant sont porteuses d'une énergie cinétique transmise par le fluide porteur. Chaque impact produit un effet sur le substrat. Selon leur dureté, les particules jouent bien entendu un rôle variable : les matériaux minéraux ont un effet plus important que les matériaux organiques détritiques de moindre consistance.

Par ailleurs, des eaux très turbides sont le signe d'une forte érosion (même si elles contiennent habituellement du plancton). Aux renverses de courant et lors des marées de faibles coefficients, ces sédiments vont se redéposer dans les zones calmes. C'est ainsi que se forment les dépôts à proximité des ouvrages fermés, mais aussi les lentilles de vase dans les sinuosités et en tout lieu de rupture de courant.

> 2.3 L'énergie des vagues et du batillage

Le mouvement des particules d'eau et en particulier des ondes de surface (vaguelettes, vagues) est source de forces érosives considérables. La déstabilisation des particules des sédiments plus ou moins cohésifs entraîne leur dislocation de surface, leur mise en suspension et leur entraînement dans la masse d'eau agitée.

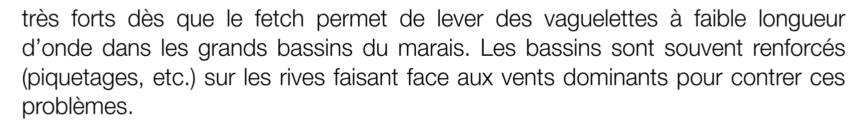
Le phénomène de battement des ridules et des vaguelettes sur les berges est appelé batillage. Celui-ci consiste simplement en un mouvement sinusoïdal des molécules d'eau. Il produit une forte agitation hydrodynamique locale, très érosive.

Le déferlement se produit quant à lui dès que les longueurs d'ondes sont suffisamment faibles, même pour des vagues de quelques centimètres, ou lorsque les vents forts décoiffent le sommet des vaguelettes. Lors du déferlement, il y a rupture du point d'équilibre : les particules d'eau s'enroulent et basculent par dessus la base de l'onde de surface. Il y a alors une forte énergie dégagée qui, lorsqu'elle impacte la berge, entraîne la perte de cohésion du sédiment.

Le déferlement se produit couramment dans le sillage des embarcations au delà de quelques nœuds. Ce phénomène reste souvent confiné dans le bas des étiers avec des petits aménagements portuaires. On l'observe aussi dans le cas de vents







très forts dès que le fetch permet de lever des vaguelettes à faible longueur d'onde dans les grands bassins du marais. Les bassins sont souvent renforcés (piquetages, etc.) sur les rives faisant face aux vents dominants pour contrer ces problèmes.

3 • Prendre en compte les substrats

Chaque type de sol, ou « substrat » des berges conditionne un choix de solutions adaptées. **Un diagnostic géotechnique reposant sur une connaissance parfaite du sous-sol est donc requis.**

Il est ainsi important, afin d'envisager la mise en œuvre d'une solution adaptée, de connaître plusieurs caractéristiques des sols :

- la profondeur du substratum, qui permettra de déterminer la profondeur du fond dur. Ce paramètre est essentiel pour orienter les solutions techniques et pour décider de l'implantation et de la nature des fondations, si nécessaire,
- la nature même des faciès de sol sur lesquels l'intervention porte avec ses caractéristiques physiques et mécaniques (essais pénétrométriques, essais en laboratoire…). Ces informations permettront également de valider la faisabilité technique d'une solution et d'en préciser les modalités de mise en œuvre,
- les caractéristiques physico-chimiques des sols dans certains cas bien particuliers, notamment pour apprécier leur agressivité sur certains matériaux.

Tout le travail de préparation doit intégrer cette analyse préalable. Il faut insister sur l'importance capitale que revêt cette phase dans la démarche de conception et de choix d'une solution technique adaptée à son contexte.

Les types de substrats suivants se rencontrent souvent combinés, soit en couches naturelles, soit agencés dans des réalisations antérieures au sein des berges.

3.1. Argiles

Les argiles constituent une catégorie de sols très largement majoritaire dans les marais littoraux. Elles résultent du dépôt d'alluvions marines et continentales très fines. Ce sont majoritairement des silicates d'aluminium à structure feuilletée ou fibreuse. Il existe une grande variété de sols, selon le type de silicate, leur structure, leur taux de matière organique et la présence de sels minéraux et d'ions dans les interstices.

Les argiles connaissent une plasticité importante en conditions saturées d'humidité, c'est-à-dire une capacité à la déformation sans rupture. Toutefois ces propriétés sont altérées par le dessèchement. Celui-ci provoque une contraction se traduisant par la création de fentes plus ou moins profondes selon la durée d'assèchement. Les propriétés plastiques sont alors perdues et des effondrements peuvent se produire. D'autre part, les argiles de surface en sursaturation (pluie, inondation), se fluidifient et perdent leur stabilité structurale. Elles deviennent fluentes et se lessivent très facilement. Cela se produit sous l'effet de la pluie sur une berge nue (impact des gouttes), ou du lessivage par l'eau de mer. Les argiles demeurent donc très délicates à traiter sur une berge altérée. Mais leur emploi est souvent incontournable, puisqu'il s'agit du seul matériau de remblai localement à disposition.

Lors de la mise en œuvre de certaines techniques il faut aussi prendre en compte leur sensibilité au poinçonnement. Ce qui constitue un atout pour battre des pieux profondément sans difficulté avec des moyens mécaniques, devient un problème à résoudre lors de l'emploi de matériaux lourds qui vont « couler » dans l'argile.

Par ailleurs certains problèmes de mise en charge peuvent être induits par une mauvaise appréciation de la portance et de la cohésion du substrat. Lors de la mise en charge de berges localement trop importantes, il peut se produire des glissement pouvant induire un affaissement de la berge traitée, compensé par un exhaussement du fond du lit et de la berge opposée.

Il faut donc avoir recours à des techniques permettant d'assurer une bonne répartition des charges et réduisant le risque d'affaissement lié au poinçonnement de la couche saine.

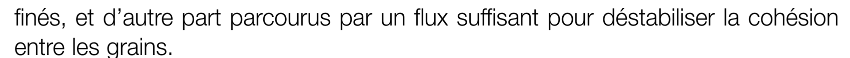
Enfin, les vases sédimentaires constituent des matériaux de dépôt et de comblement naturels dans les anfractuosités des installations (nattes, géotextiles, pierres, roches), qui présentent le plus fort intérêt écologique. En effet, ces substrats vaseux accueillent la majorité de la biomasse de la méiofaune, de la microfaune et la microflore, supports de la chaîne alimentaire des étiers.

3.2 *Sables*

Les sables constituent un ensemble de sols de nature minérale (calcique ou siliceuse), de pureté et de granulométrie très variés (de 0,05 à 2 mm). Ils sont issus de l'érosion des roches terrestres ou de dépôts érodés de coquilles ou de squelettes de microorganismes.

Ces sols offrent une très bonne résistance à la compression, et sont inertes aux variations hydrostatiques (variation de la teneur d'eau entre les grains). Néanmoins, il peuvent être sensibles à la déstructuration dès lors qu'ils sont d'une part décon





finés, et d'autre part parcourus par un flux suffisant pour déstabiliser la cohésion entre les grains.

Les équilibres en remblai comme en déblais sont fragiles et sont basés sur un frottement suffisant entre grains pour assurer un état statique. Ces substrats nécessitent une pente faible pour en assurer la stabilité. Il faut souvent les buter en pied et coucher les talus. Ces matériaux peuvent donc présenter une difficulté importante de mise en œuvre et de modelage, contrairement à ce que l'on peut penser.

Structurellement, il est donc indispensable de les confiner à l'intérieur de la berge, leur faible plasticité et leur porosité intrinsèque conservant à la berge des propriétés intéressantes en matière de cohésion et de stabilité. Par exemple ils sont insensibles au poinçonnement, et constituent donc des assises stables. Cela a pour corollaire le recours à des techniques plus lourdes pour y planter des pieux.

Par ailleurs, les sables constituent aussi des substrats biologiques très intéressants, leur présence dans les étiers demeurant toutefois plus ponctuelle que celle des vases. Les lentilles sableuses constituent donc un maillage de biodiversité intéressant.

3.3 *Calcaires et autres roches*

Parmi les substrats rocheux les plus couramment rencontrés dans les marais se trouvent les calcaires. Il s'agit de roches sédimentaires déposées au fond des mers, composées de carbonate de calcium ou de magnésium. Si elles comportent une part importante d'argile, il s'agit de marnes. Ce sont des roches facilement solubles dans l'eau. Les substrats calcaires sont souvent fissurés et poreux en surface.

Les autres roches que l'on est susceptible de rencontrer sont les granites, les basaltes et les gneiss. Malgré une porosité très faible, elles aussi peuvent présenter des fissurations, et se comporter alors comme des substrats poreux.

L'étanchéité des substrats rocheux n'est garantie que grâce à la présence sur la surface supérieure d'une couche de sédiments argileux susceptibles de colmater des brèches et de réduire la perméabilité des sols vers le bas.

Il est donc essentiel de conserver une épaisseur minimale de sédiment sans atteindre le fond rocheux lors de curages et profilages. Par contre il peut être tout aussi essentiel de pouvoir s'appuyer sur le substrat rocheux pour certains aménagements de confortement. Des précautions limitant les infiltrations doivent donc être prises.

Sur le plan mécanique, les roches peuvent présenter des caractéristiques différentes. Les matériaux peuvent être plus ou moins durs, plus ou moins friables, plus ou moins cassants…Ces particularités vont influer considérablement sur les techniques et les coûts des solutions qui seront mises en oeuvre.

Il sera primordial de bien situer la profondeur de ces substrats, dans le secteur sur lequel l'intervention est souhaitée, ce qui renseignera immédiatement sur la possibilité ou non de mettre en œuvre certaines techniques.

Les substrats rocheux nus dans la zone intertidale des étiers présentent un intérêt biologique variable selon que l'on considère la partie amont ou aval. Les peuplements en zones amont dessalées se composent simplement de quelques espèces d'algues et de mollusques, ou de crustacés cirripèdes. Ils sont beaucoup plus importants dans l'embouchure de l'étier sous influence marine. Si les étiers aux fonds rocheux demeurent rares, de telles configurations rocheuses en zones marnantes se retrouvent dans les abers bretons et témoignent d'une importante biodiversité.

4 • Techniques de protection des ouvrages

Ce chapitre décrit les modèles techniques employés dans les étiers. Il ne donne pas de recettes systématiques, chaque cas de figure étant différent et peut faire appel à une solution unique ou mixte bien particulière, bien que leur nombre soit finalement limité. Nous distinguerons les techniques courantes employées individuellement, des techniques combinées.

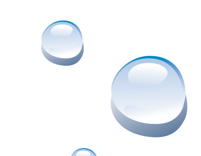
Il s'agit ici d'apporter un éclairage sur l'emploi de chaque méthode afin d'aider à en comprendre l'intérêt, la portée et les limites. Le profil « génie civil» ou « génie écologique » de chaque technique sera également abordé afin d'apporter un éclairage sur le sujet. Les appréciations fournies ici demeurent toutefois un sujet largement ouvert, puisque les points de vue ne sont pas unanimes et nécessitent des apports expérimentaux précis.

Le caractère écologique de chaque type d'installation à échelle locale sera abordé dans les fiches suivantes. En ce qui concerne les aménagements de berge et de lit sur le cours d'un étier, la question de l'impact écologique global à l'échelle d'un marais est difficile à résoudre. L'artificialisation est couramment considérée comme préjudiciable, mais peu d'études rendent compte de l'impact que l'on peut mesurer sur les peuplements en fonction du pourcentage de linéaires concernés et de la nature des aménagements. Dans l'attente de véritables recherches de portée générale sur le sujet, les connaissances actuelles ne permettent pas d'apporter d'informations déterminantes.

> 4.1 Techniques courantes

Parmi les techniques de génie classiques employées en marais on distingue :

- Les remodelages,
- les enrochements,
- les murs en pierre (moellons),
- les palplanches,
- les aménagements bétonnés,
- les gabions, et matelas Réno,
- les tunages,
- les pieux jointifs.





Le génie végétal en tant que tel est un concept qui se réduits à certaines méthodes applicables en étiers pour deux raison fondamentales :

- **la végétation n'est présente qu'à l'étage haut de l'estran, il s'agit de l'étage correspondant au schorre. 80% du reste de la zone de marnage située dessous correspond à des vases nues.**
- **cette végétation du schorre présente un faible mat racinaire, il est incomparablement moins efficace pour stabiliser des berges sur des pentes fortes argileuses que les racines des végétaux supérieurs des bords de rivières.**



Le génie végétal n'est pas en tant que tel la solution écologique de prédilection pour les étiers puisqu'elle est majoritairement inadaptée à la réalité des étagements biologiques.



Les techniques précitées sont souvent désignées comme « techniques lourdes ». Cela provient non seulement de leur coût relativement élevé, mais cela tient aussi au fait qu'on leur attribue peu de valeur au sens écologique et environnemental, cela étant dû en grande partie à leur aspect artificiel (ex : palplanches, enrochements exondés).

Il sera discuté plus loin de ces points de vue, que l'on se doit de compléter de considérations fonctionnelles afin de nuancer et de rationaliser le propos.



Voici la liste des principaux avantages et inconvénients des techniques de génie qui vont être décrites :

Avantages :

- Capacité à résister à de forte contrainte hydraulique.
- Durabilité reconnue.
- Facilité de mise en œuvre.
- Cohésion rapide avec le substrat d'origine.
- Emploi adapté à proximité des habitations et routes.

Inconvénients :

- Modifications des écoulements hydrauliques locaux induisant des transferts d'énergie érosive.
- Sensibilité variable aux changements brusques de niveau d'eau.
- Surveillance souvent nécessaire pendant la phase de stabilisation.
- Entretien variable dans le temps.

Les avantages et inconvénients spécifiques à chaque dispositif sont décrits plus en détails pour chacune des techniques présentées ci-après.

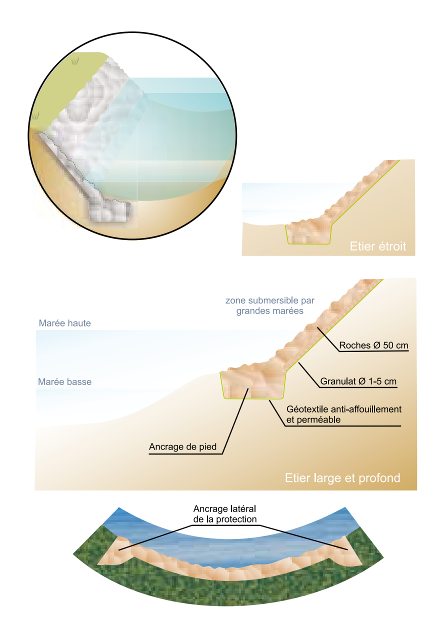


Fig. 4 : Vue en coupe d'enrochements (Dessin L. Anras, FMA)

4.1.1 Enrochements

Description

Les enrochements sont des empilements de roches de carrière. Les roches peuvent être empilées sur toute la berge ou une partie seulement (la base le plus souvent). On appelle ainsi **épis** les roches disposées au pied des enrochements afin de réduire l'énergie déstabilisatrice du courant sur la base.

Mise en œuvre

Une préparation préalable du lit de pose (berge) et de la zone d'ancrage (bêche de pied) est indispensable. Les calcaires, basaltes ou granites sont majoritairement employés. Ceux-ci sont posés sur un géotextile surmonté généralement d'une couche


Source : FMA

Enrochements avec reprise de la végétation halophile en partie haute et envasement en partie basse (Ile de Ré). Age 5 ans.

de granulats. Les roches nécessitent l'emploi de d'engins lourds tels que des pelleteuses, engins d'excavation et de transports.

La mise en œuvre nécessite une attention particulière si les sols sont peu portants afin d'éviter les affaissements de berges sous la charge des engins lourds. Les blocs doivent être posés délicatement pour ne pas altérer la couche de répartition de charge (granulats et géotextiles).

Les enrochements peuvent être adaptés aux pentes faibles sous certaines conditions, mais sont couramment employés pour des pentes fortes. La stabilité des berges enrochées dépend de la nature des matériaux qui les composent et de leurs caractéristiques. Les risques de déstabilisation sont importants si le substrat est plastique. **Attention, seule une connaissance approfondie des caractéristiques des sols sur lesquels repose l'aménagement peut permettre de retenir un angle d'inclinaison adapté pour assurer la stabilité de l'ensemble.**

En ce qui concerne les roches sédimentaires il est conseillé de ne sélectionner que les blocs qui ne présentent pas de fissurations (risques accrus d'éclatement). Pour cela un stockage préalable en plein air pendant un hiver peut permettre d'écarter les blocs sensibles.

Avantages / Inconvénients

- La **stabilisation** commence dès la mise en œuvre et s'achève rapidement. Emploi adapté aux berges à pentes moyennes à fortes (>50%)

- **Durabilité.** La durée de vie des structures d'enrochements dépend largement de la nature des roches, de leur implantation (ordonnancement et taille des roches) et de l'installation d'épis au pied de la berge destinés à réduire la force érosive du courant. Les enrochements peuvent être remaniés si nécessaire. La consolidation s'effectue aussi par colmatage des anfractuosités (matériaux rapportés lors des travaux ou par les processus naturels). Par ailleurs, le développement de la végétation dans la partie haute participera à la cohésion de l'ensemble. Mais globalement, il s'agit d'une solution très durable, si la conception et la mise en œuvre respectent les règles de l'art.






- La **perméabilité** de la berge est maintenue intacte. Dans les enrochements disposés en couches multiples, les blocs sous-jacents sont en partie intégrés au substrat. Les roches sus-jacentes quant à elles peuvent plus ou moins être colmatées par des sédiments rapportés (lors des travaux, ou en laissant se faire les processus naturels).

- **L'intégration paysagère** est variable. Elle dépend de l'exposition de l'enrochement à l'érosion, de la taille des blocs et de la pente de l'installation. De gros blocs très exposés au courant ou aux vagues avec une pente forte resteront visibles, même si des algues, des patelles et des balanes viennent s'y développer. A l'inverse des blocs de plus petits diamètres installés sur une pente plus faible et moins exposés pourront intégralement disparaître dans la berge, grâce à un colmatage rapide (quelques années, voire quelques mois) par les sédiments marins en partie basse, et les sédiments terrigènes en partie haute. Ce choix technique est toutefois rarement proposé.


Source : UNIMA

Pose d'enrochements sur couche de géotextile

- La **valeur écologique** de l'enrochement n'est pas nulle (perméabilité, microhabitats). Elle est contrebalancée par une valeur esthétique généralement médiocre et un aspect artificiel évident. L'enrochement sur de petits linéaires présente une diversification par mosaïquage des habitats benthiques, bien que peu typiques de ces milieux. Il n'existe pas d'études pour arguer des avantages ou des inconvénients des enrochements sur d'importants linéaires d'étiers vis-à-vis de la perte ou non d'attractivité du milieu pour les espèces aquatiques qui les parcourent.

- Technique applicable seulement à proximité de carrières pour éviter un coût prohibitif lié au transport.

- Difficultés d'approvisionnement. Les carrières préfèrent fournir de la roche concassée plus rémunératrice.

- Accessibilité réduite des sites aux engins lourds.

- Faible intégration paysagère dans les cas d'implantations très denses.

4.1.2 Murs en pierre (moellons)

Description : Les moellons sont des pierres de taille, de dimensions plus ou moins régulières, assemblées par liants (joints de ciment ou de chaux).

Les murs sont employés traditionnellement à proximité d'ouvrages d'art et en zones urbaines ou pour la confection de quais pour les besoins de la navigation.

Ils sont particulièrement adaptés aux pentes verticales ou abruptes (>50%). Il existe trois types de murs en pierre : les murs verticaux aux assemblages de mœllons verticaux ou horizontaux et les murs inclinés.

Les murs sont employés dans les zones à courant fort et turbulent. Ils offrent une grande résistance mécanique et leur surface lisse permet de transférer l'énergie hydraulique au delà de la zone de berge à protéger.

Il est donc souvent nécessaire de combiner cette technique avec un autre dispositif installé dans son prolongement, dans le cas où l'énergie transférée ne se dissiperait pas seule dans le cours de l'étier. C'est ainsi que l'on rencontre souvent des enrochements à la suite des murs qui prolongent un ouvrage hydraulique.

Mise en œuvre

Les murs peuvent être plus ou moins élevés. Leur hauteur est fonction de l'amplitude de marnage et de la nature de la berge à protéger.

Les **murs verticaux**, où les moellons sont installés verticalement, sont souvent préférés dans les zones à fort courant. Ils résistent mieux à l'affouillement par l'eau entre les joints, que les murs dont les moellons sont horizontaux.



Source : UNIMA

Réfection d'un mur vertical à moellons verticaux




Source : UNIMA

Mur à moellons horizontaux


Source : UNIMA

Murs inclinés

Les murs verticaux à moellons horizontaux sont plutôt adaptés aux courants modérés.

On trouve couramment des murs inclinés près des écluses et barrages, où les moellons sont posés en couches biaises. Ils sont plantés perpendiculairement dans le talus de berge. Il s'agit de murs en pente dont la réalisation est complexe.

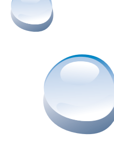
Ces murs peuvent être réalisé avec des joints ou ajustés sans joints. Le second type présente une meilleure perméabilité. Cet avantage peut être un inconvénient s'il faut maîtriser l'hydromorphie de la berge.

La précaution principale pour la mise en œuvre consiste à bien consolider le pied, afin de stabiliser l'édifice (socle de cailloutis et de roches). Le talus sera préalablement terrassé pour la mise en forme. Cette préparation garantit un support adéquat pour l'installation des moellons. Il est également important de bien assurer la transition mur-substrat par l'ajout de matériaux ou d'un dispositif assurant l'adhérence sur le support.

Avantages / Inconvénients

- Protection adaptée aux berges abruptes.
- Protection durable, qui dépend toutefois de la nature de roche et de la qualité de la mise en œuvre.
- Esthétique de qualité architecturale généralement très bien perçue en zones urbanisée, comme isolées dans le marais.
- Peut remplacer une partie de linéaires d'enrochement pour des besoins esthétiques, aux pieds des ouvrages d'art.
- Murs à pente inclinée plus résistants à la charge sur les berges que les murs verticaux.





- Imperméabilité relative qui peut être un atout au niveau géotechnique.

- Mise en œuvre très spécialisée avec un haut niveau de technicité.

- Murs verticaux sensibles à la charge que doit supporter la berge, induisant une adaptation de la taille des moellons à l'extension verticale du mur.

- Valeur écologique négligeable. Les murs présentent un intérêt restreint pour la vie aquatique, moindre encore que celui de l'enrochement. La végétation peut difficilement s'installer. L'attractivité est faible pour la faune en raison d'une surface plane et souvent stérile.

- Ces installations conduisent souvent à un transfert de charge hydraulique. Il convient donc d'évaluer l'impact de leur implantation sur les abords immédiats qu'il faudra probablement aussi protéger.

- Imperméabilité relative aux flux d'espèces

- Le coût est élevé.

Coût :

Il s'agit des réalisations les plus coûteuses, en raison des matériaux employés (moellons façonnés), de la main d'oeuvre spécialisée et du temps de réalisation nécessaire : de 300 à 600 euros HT/m² selon la nature et la taille des pierres.

4.1.3 Gabions et matelas

Description : Les gabions et matelas sont les constructions en forme de paniers cubiques ou rectangulaires constitués de grillages en fils d'acier galvanisés et/ou recouverts de résines ou de matières plastique et remplis de roches ou de granulats.

Les gabions peuvent être de différentes dimensions et prendre plusieurs formes. Généralement, ils sont parallélépipédiques de 1 m à 3 m de côté. Ils sont agencés pour constituer une infrastructure géométrique à forte rugosité, pour façonner un nouveau profil distinct du profil naturel d'érosion ou pour conforter une berge supportant une charge importante.

Les matelas ont une épaisseur d'environ 20 cm sur une longueur et une largeur variables qui leur permettent au contraire d'épouser le profil à restaurer.

Mise en œuvre

Après façonnage du sol, les paniers vides sont disposés sur place. Ils sont appuyés sur un géotextile et calés à la base. Ils sont ensuite remplis de cailloutis.

Les éléments de gabions peuvent être empilés et imbriqués en marches d'escalier plus ou moins décalées selon la pente à reconstituer. Selon la morphologie à reconstituer, les gabions sont donc adaptés à toutes les pentes. Ils peuvent donc présenter une grande élévation.

Les matelas sont installés sur des pentes modérées, stabilisés par un appui en pied.

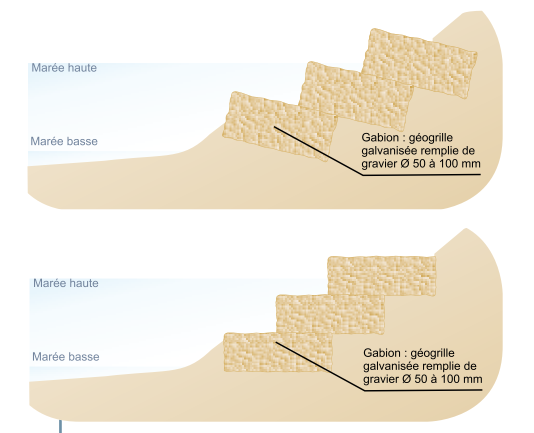


Fig. 5 : En haut, gabions installés en marches inclinées pour améliorer le colmatage et réduire la verticalité nuisible à l'installation de la vie. Cette disposition n'est possible que sur des sols suffisamment portants.
En bas, installation en marches classiques, à stabilité assurée mais présentant des effets de seuils plus marqués (Dessin L. Anras, FMA).

Durant les premiers temps d'exploitation, les espaces libres entre les cailloux se comblent de limon, de vase ou de terre. L'accumulation de ces matériaux dans le gabion permet d'augmenter sa stabilité en créant le lien avec les matériaux rapportés. On peut donc constater que les processus naturels transforment les gabions en structures très stables qui vont devenir partie intégrante du paysage naturel. La durée d'amélioration des capacités physiques est nommée la période de consolidation. Elle dépend du climat et du type d'installation et peut durer de 1 à 5 ans. Durant cette période le fil d'acier joue un rôle très important en consolidant la construction. De cette phase de consolidation dépend la durée de vie de l'aménagement. Elle peut être très élevée si cette consolidation est réussie.

Avantages / Inconvénients

- **Plasticité.** Les blocs assemblés de gabions sont très souples. Ces structures conservent leur cohésion aux grés des mouvements des sols.
- **Stabilité.** Elle est acquise durablement à l'issue de la période de consolidation.
- **Perméabilité.** La porosité des gabions apporte aux constructions des capacités drainantes. Cette porosité s'atténue progressivement avec le colmatage, les gradients hydrostatiques et d'oxygènes sont favorables au maintient des flux d'eau et de matières au sein de ce néo-substrat.

- **Durabilité.** Des années d'expérience d'utilisation des gabions en milieu continental permettent de les classer comme des éléments constants plutôt qu'à durée de vie limitée. Cependant ce jugement est à nuancer dans le cas de très fortes expositions aux courants, particulièrement en milieux salés. Toutefois la durée de vie de tels équipements est estimée comme très élevée comparée aux autres techniques.

- **Intégration Paysagère.** Les gabions présentent une moins bonne intégration que les matelas. En effets seuls les seconds s'inscrivent dans le profil naturel de la berge et peuvent être intégralement digérés par celle-ci au point de disparaître. En partie haute, le colmatage peut s'effectuer et la végétation peut s'implanter lorsque les pentes n'excédent pas 30 à 40 %. Cette intégration peut prendre de quelques mois à plusieurs années.

- **La valeur écologique des gabions et matelas** est indéniable, dès lors qu'ils épousent ou restituent au mieux un profil naturel. Ces constructions permettent de maintenir ou de rétablir l'équilibre écologique sur le site dont ils deviennent une partie intégrante. Leur présence atténue les forces du courant (rugosité initiale importante). L'efficacité environnementale des constructions augmente au cours des années en permettant à la vie de se développer sur un substrat reconstitué à partir de cette base minérale.

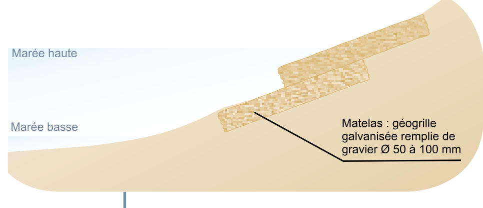


Fig. 6 : Matelas avec ancrage par piquets (Dessin L. Anras, FMA)

- **Coût modéré** de la mise en œuvre au mètre linéaire. Les matelas sont des structures plus légères et plus aisées à installer que les gabions.

- Avantages à la mise en œuvre :

- Frais d'entretien réduits. Même quand par accident un ou plusieurs blocs ont été endommagés, les réparations sont aisées sans altérer les propriétés de la structure.

- Peu des travaux préparatoires : Seul le retalutage est indispensable.

- Equipement et technicité simple.



- Coût relativement élevé pour la solution gabion, en particulier si les granulats ne sont pas disponibles localement. La proximité de carrières est nécessaire pour éviter un coût prohibitif lié au transport.
- Choix des matériaux adaptés aux milieux salins. Le risque de dégradation des géogrilles avant la stabilisation doit être réduit par l'emploi de d'aciers traités, enduits ou P.V.C.

Coût : il est d'environ 120 à 300 euros HT /m^3 pour les gabions.
Il est d'environ 30 à 100 euros HT/m^2 pour les matelas.







Gabions en zone estuarienne. En haut : mars 2004, avec la re-végétalisation du bas du gabion par les hélophytes. En bas : avril 2006 avec le re-végétalistion par des herbacées dans le sol qui se constitue entre les granulats (source FMA).



4.1.4 Palplanches métalliques et palfeuilles

Description : il s'agit de feuilles de métal épais préformées et emboîtables les unes dans les autres, enfichées verticalement dans les berges.

Les feuilles de métal sont galvanisées ou subissent un traitement de surface pour réduire la corrosion (résines, peintures polymères, etc.). Leur épaisseur est variable pour répondre à différentes contraintes locales (rigidité attendue, support à assurer, dimensions…)

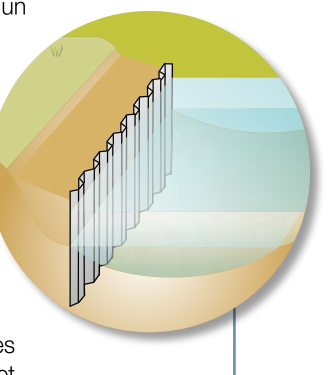


Fig.7 : Palplanche (Dessin L. Anras)

Les palplanches sont réservées à la consolidation de berges verticales, dans des zones disposant de peu d'espace, ou à des applications demandant une étanchéité parfaite. Plus rarement, elles sont aussi employées pour la confection de berges étagées.

Leur fonctionnalité mécanique pure réduit leur emploi à des confortements d'infrastructures portuaires (quais, môles) et d'ouvrages d'art (abords de ponts, d'écluses et de franchissements divers).

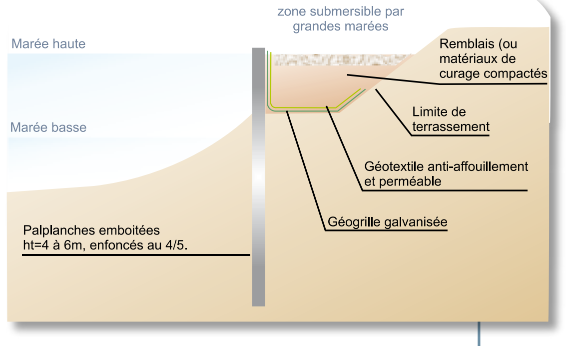


Fig. 8. Palplanche en coupe (Dessin L. Anras, FMA)

Mise en œuvre

Elles peuvent présenter une hauteur importante (plusieurs mètres).

Les palplanches sont battues dans le substrat à hauteur de 3/5 ou 4/5 enfiché dans le sol, et ceci en fonction des caractéristiques des terrains et des charges supportées par la berge, afin de garantir la résistance de l'ensemble au basculement dans le lit de l'étier. Dans le cas où le substrat dur est peu profond, il peut être souhaitable sous certaines conditions de prévoir une extension verticale des palplanches jusqu'à celui-ci pour disposer d'un appui solide. Mais attention aux proportions précédentes qui doivent impérativement être respectées pour garantir la stabilité de l'ensemble, sinon un ancrage en pied doit être assuré.



Un tirandage des lames (filins d'aciers tendus vers des piquets perpendiculaires régulièrement espacés ou un deuxième rideau de palplanches), est aussi envisageable pour compenser les efforts liés aux fortes charges auxquelles sont soumises les berges sur ces sites (routes, zones de chargement portuaires, etc.).

La mise en œuvre peut être opérée de différentes manières (pelle hydraulique, jet, mouton…), en fonction des caractéristiques et de la nature des sols en place. Il conviendra généralement d'assurer une liaison du rideau en tête afin d'en assurer la rigidité.



Source : FMA

Palplanches dégradées

Avantages / Inconvénients :

- Stabilité et grande résistance physique.
- Durabilité importante dans la limite de la corrosion des lames de métal (environ 50 ans si bien dimensionnées et avec un traitements adapté).
- Facilité de mise en œuvre. Permet notamment de travailler sans contraintes liées au marnage.
- Adapté aux zones sous fortes contraintes érosives.
- L'aspect esthétique est médiocre et l'intégration paysagère est peu satisfaisante. Toutefois des installations réalisées en affleurement à marée haute limitent leur impact visuel.
- Le rôle écologique des palplanches est médiocre à nul. Leur étanchéité étant totale, elles empêchent tout échange avec la berge. Il est donc souvent nécessaire d'installer un système de drainage intégré à la berge pour pallier cet inconvénient. Il s'agit d'un substrat colonisé à terme par un nombre réduit d'organismes (algues vertes, mollusques et balanes). Si la partie haute affleure avec le niveau de vives-eaux, alors un schorre peut éventuellement s'installer sur le seuil et compenser en partie le faible intérêt de la partie basse.
- Coût élevé.

Coût :

Il est de l'ordre de 200 à 400 € le m^2

Ce coût élevé s'explique par le matériau onéreux qui les compose (lames d'acier haute qualité traitées contre la corrosion), et par les précautions d'installation requises pour limiter les altérations du traitement de surface. A préciser auprès des entreprises avant l'installation.




4.1.5. Pieux et tunage

Description

Cette technique emploie des rondins de bois fichés verticalement en pieds de berge ou sur la pente de talus.

Les pieux sont généralement installés de manière jointive. La technique est désignée ainsi couramment sous le nom de « **piquetage** ».

Les pieux fichés de manière espacée peuvent également servir de support à des palissades de pieux ou de planches horizontales. Il s'agit alors des méthodes de « **tunage** ».

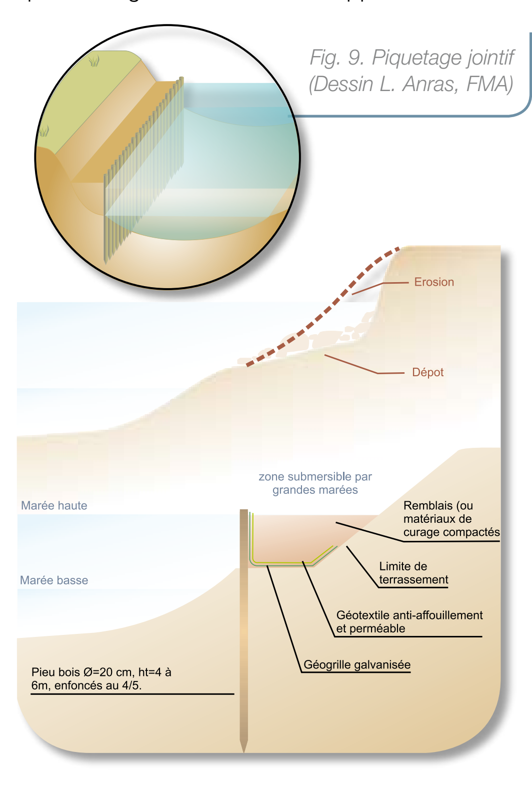


Fig. 9. Piquetage jointif (Dessin L. Anras, FMA)

Enfin les pieux peuvent aussi servir de support pour des géogrilles et géotextiles. Ces méthodes seront décrites au chapitre suivant traitant des méthodes mixtes.

Les techniques de piquetage et de tunage sont parmi les plus anciennes, car elles nécessitaient à l'origine des moyens rudimentaires : il s'agissait d'enfoncer des pieux à l'aide d'une masse. Cette mise en oeuvre s'effectue de nos jours de manière mécanique avec des engins de chantiers.

Mise en œuvre

Leur extension verticale hors de l'eau ne dépasse pas 1 mètre. Les pieux jointifs sont plantés côte à côte, au 4/5 environ de leur longueur dans le substrat pour contrer les forces de basculement. Cette valeur est fonction de la qualité des terrains et des charges supportées sur la berge. Comme pour les précédentes méthodes, le dispositif est mise en œuvre est fonction de la nature et des caractéristiques des sous sols. Une reprise du profil et un remblais sont presque toujours nécessaires.





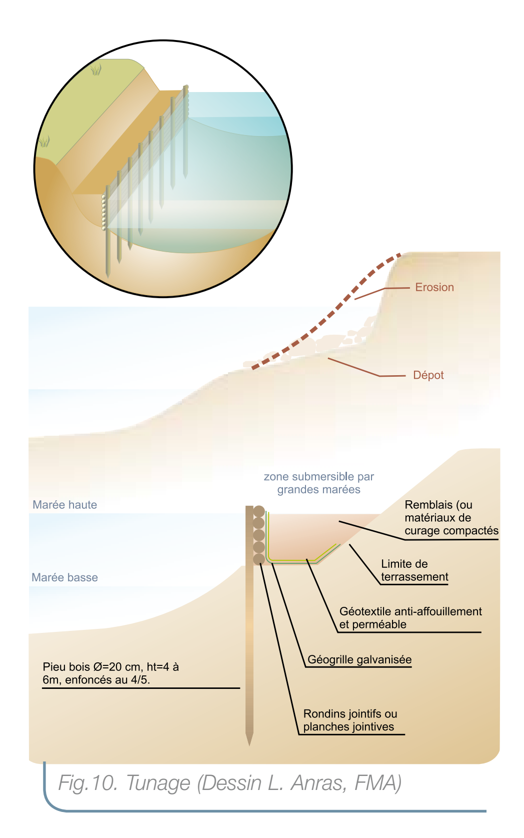


Fig.10. Tunage (Dessin L. Anras, FMA)

L'effet du piquetage est de présenter une rupture de pente. Cet aplomb est toutefois de faible extension (0,5 à 1 m). Il est généralement mis en affleurement avec le niveau des marées de coefficient 85 à 90.

Le tunage nécessite une intervention manuelle, une fois les pieux battus, pour agencer et fixer les lames horizontales.

Note sur les bois : Le bois utilisé doit être résistant à l'humidité, aux attaques fungiques pour la partie aérienne et aux attaques de tarets pour la partie aquatique. On utilise pour cela du chêne, du châtaigner. L'emploi du pin maritime est fréquemment observé puisque c'est un bois courant sur les côtes atlantiques et peu onéreux. Il est toutefois peu résistant dans le temps et du point de vue mécanique.

Avantages / Inconvénients

- **Intérêt économique :** le bois est un matériel relativement peu cher.
- **Facilité** de mise en œuvre.
- Compacité, solidité et souplesse.
- Matériaux recyclables et digestes pour l'environnement.
- Perméabilité.
- Bonne intégration paysagère sur des sites où ces techniques sont traditionnellement utilisées grâce à l'aspect valorisant du bois (rusticité).
- **Durabilité moyenne à médiocre,** de 5 à 30 ans. En effet, la durée de vie des bois exposés à l'air et à l'eau de mer est considérablement plus faible que celle des matériaux minéraux inertes (note : par contraste, les parties de bois fichées dans la vase perdurent de plusieurs décennies à plusieurs centaines d'années). En effet, les facteurs abiotiques (salinité, rayons UV, marnages) et biotiques (mollusques, rongeurs) favorisent la dégradation des structures.

- **Faible intégration écologique.** Les murs de pieux et les tunages (comme les murs de pierre et les palplanches) sont un obstacle aux organismes qui se développent dans les berges et les fonds. La végétation ne se développe pas dessus. Seul le seuil de remblai aménagé à l'étage du schorre peut apporter un gain en terme d'habitat.
- **Mise en œuvre délicate** et longue pour les palissades à pieux jointifs, plus rapide pour le tunage.
- Ne convient pas aux sites à faible profondeur de substratum rocheux

Le coût :

Il est variable selon la nature du bois et la hauteur des pieux.
80 à 200 euros HT/ml de palissade en pieux jointifs.
100 à 250 euros HT/ml de tunage.



Les pieux jointifs. En haut : à gauche – la mise en œuvre (photo de l'UNIMA), au milieu – les pieux inclinés (marais de Seudre) ; ci-dessous – pieux avec rondins de bois derrière (Marais de Seudre)

Mise en œuvre de tunage avec étagements. (Source UNIMA)

4.1.6 Les techniques avec béton

Le béton armé est employé couramment dans les marais salés pour construire des murs et des renforcements d'ouvrages d'art (vannages, ponts) là où les forces hydrauliques sont très importantes.



Source : FMA

Enrochements bétonnés, dans le prolongement d'un mur, pour la consolidation des abords d'une vanne (île de Noirmoutier).

Ils sont utilisés bruts pour couler des structures, ou comme liants pour maçonner les murs en pierre ou les enrochements. Le béton est un mélange d'eau, de ciment et de grave, additionné d'éventuels produits (chaux, résines, etc.), en fonction des contraintes, enjeux et besoins particuliers du site.

La mise en œuvre préalable consiste à réaliser les fouilles et le modelage nécessaires à l'érection des murs. Ces travaux peuvent entraîner en outre le besoin de renforcer temporairement les zones d'excavation. Il est ensuite nécessaire de réaliser les fondations de l'ouvrage. Leur nature est fonction des caractéristiques des sols en place et des efforts auxquels sera exposé l'ouvrage. Vient ensuite la préparation de l'ouvrage : réalisation des ferraillages et des coffrages. L'ouvrage est ensuite coulé en place. Selon l'accessibilité, le béton est réalisé sur place à la bétonnière, ou est acheminé à l'aide de camions toupie depuis une centrale à béton installée à proximité.

Il est également possible de mettre en oeuvre des dispositifs préfabriqués, ce qui n'affranchit pas de l'obligation de préparation des fouilles et de la réalisation de fondations spéciales, si nécessaire.

Avantages / Inconvénients

- **Facilité** de mise en œuvre, si l'accessibilité est bonne.
- **Excellente durabilité.** Elle dépend toutefois intégralement de la qualité du béton. Un béton mal dosé, mal mélangé ou mal mis en œuvre peut avoir une durée de vie de quelques mois à quelques années seulement. Une installation bien réalisée peut durer un siècle ou plus.
- **Rigidité.**



- Technique dépendante de l'accessibilité.
- **Perméabilité faible** à nulle.
- **Faible qualité paysagère et valeur écologique très faible :** l'intérêt du substrat est très limité pour la faune et la flore, au même titre que les substrats durs tels que les palplanches et le bois nu.
- **Le coût,** bien que généralement élevé, est très variable selon la difficulté de réalisation et l'accessibilité de l'installation à réaliser.

> 4.2 Techniques Mixtes

La diversité des techniques mixtes est relativement limitée dans les marais salés.

Il s'agit généralement de :

- pieux et géogrilles/géotextiles,
- pieux et enrochements
- palplanches avec couronnement béton.

4.2.1 Pieux géogrilles/géotextiles

Les pieux non jointifs (piquetage) constituent une technique mixte consistant à retenir les matériaux de la berge derrière une géogrille tendue entre des pieux de bois espacés (chêne, châtaigner, pin maritime).



Source : FMA

Pieux avec géogrille (île de Noirmoutier)

Ces dispositifs sont très couramment utilisés en zones continentales, particulièrement en rivière. L'emploi de géogrille et de géotextiles répond au besoin de supporter des charges et des pressions ainsi que de résister à de petites déformations.

Les **géogrille et géonattes** sont des feutres plus ou moins denses composé d'un entrelacs de fils synthétiques (polyéthylène, polypropylène, polyester, fibres de verre,) ou d'un tissage de fibres naturelles biodégradables (non durable). Ces nattes ont la propriété de retenir les particules du sol en maintenant les échanges de fluides et de gaz. Ces tapis sont disposés habituellement à plat et sur des pentes. Ces matériaux présentent une faible résistance à la pression. Ainsi, une géogrille disposée à la verticale nécessite d'être armée par un grillage d'acier traité anticorrosion.



Source : FMA



Pieux avec géotextile (Marais de La Dordogne)

Le **géotextile** est un matériel tissé dense, composé de fils de polypropylène.

Il présente une plus forte capacité mécanique de rétention que la géogarille, il peut être employé verticalement et résiste à de fortes pressions.

>**NOTE :** Les fonctions principales des géotextiles sont :
- de séparer des couches de matériaux.
- de consolider les sols contre les effets érosifs.
- de répartir la pression d'un ouvrage sur une surface.
- de drainer.

Mise en œuvre :

L'extension verticale du dispositif hors sol ne dépasse généralement pas 1 m. Le choix des matériaux est crucial. Dans le cas des marais salés, les géogrilles comme les géotextiles sont exposés à des agents particulièrement agressifs. Ils doivent résister aux agressions chimiques (dessiccation/humectation, variations de pH et de salinité, oxydoréductions) et physiques (température, UV) liées au cycle quotidien des marées.

En effet, les risques d'affaissement et de déstructuration de l'installation sont très importants si la géogrille ou le géotextile ne résistent pas, et cela durant toute la durée de vie de l'aménagement. En ce qui concerne les nattes disposées à plat en zone de schorre, la stabilisation intervient grâce à la végétation. En ce qui concerne les géogrilles verticales, il n'existe pas de phase de stabilisation. Le textile demeure sous pression sans l'effet stabilisateur et cohésif du sol consolidé la végétation (celle-ci est soit absente soit à très faible développement racinaire, s'agissant de plantes du schorre). Les nattes de coco sont donc à proscrire pour ces utilisations.

Il convient de s'assurer de l'ancrage des pieux qui doivent être battus suffisamment profond et éventuellement tirandés. De même le déploiement des géogrilles et géotextile doit se faire par débordement large, jusqu'en dessous des zones

d'affouillement, pour éviter tout risque de déstructuration et d'affaissement derrière l'aménagement. Toute économie à ce niveau peut faire courir de graves risques à l'installation.

Avantages / Inconvénients

- Perméabilité permettant des flux d'échange avec la berge.
- Intégration paysagère correcte si le seuil est peu élevé, et géogrilles plus discrètes que les géotextiles.
- Facilité de mise en œuvre qui rend l'installation possible dans les endroits difficilement accessibles.
- Certains matériaux sont naturellement recyclables (si bois, fibre de verre ou coco).
- Installations peu onéreuses.
- Intérêt écologique discutable en terme d'habitat (verticalité, caractère artificiel des feutres faiblement colonisés).
- Coût de réalisation généralement peu élevé en comparaison des autres techniques.
- **Faible durabilité des géogrilles et géotextiles disposés verticalement en zones salées**, liée à l'emploi du bois et à la vulnérabilité des géogrilles (accrocs, rongeurs, etc.).
- **Intégration paysagère discutable** dans un certain nombre de cas (géotextiles peu esthétiques lorsqu'ils sont exondés).
- Géogrilles et géotextiles synthétiques non recyclables.

Coûts :

La fourniture et mise en œuvre des pieux avec géogrille et géotextile peut varier de 60 à 120 euros HT/ml selon la hauteur et la nature du bois, ainsi que du type de géogrille (armée et non armée) et selon la disponibilité des remblais.

4.2.2. Piquetage et enrochement

Le tunage peut être associé à l'enrochement sur des pentes moyennes. Un tel dispositif peut avantageusement remplacer de l'enrochement seul, notamment à proximité d'un ouvrage avec un courant fort à modéré pour des besoins esthétiques et fonctionnels.







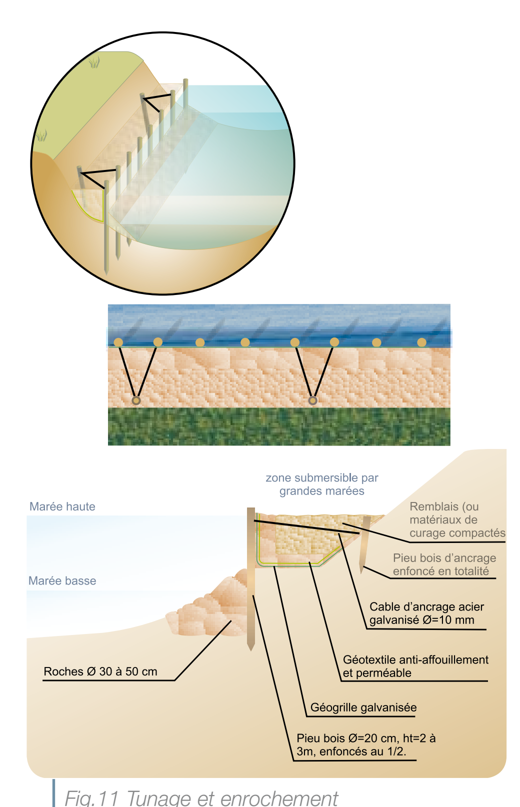


Fig.11 Tunage et enrochement (Dessin L. Anras, FMA)

Mise en œuvre :

La berge doit au préalable être reprofilée pour accueillir le dispositif. L'enrochement est disposé sur géotextile à la base de la berge sous forme d'épis massifs. Ils disparaîtront ensuite partiellement sous la vase. Les pieux sont enfoncés à la rupture de pente. Ils seront calés entre les enrochements et les remblais et n'ont pas de rôle mécanique important. Leur rôle est principalement de nature esthétique. De fait, ils seront fichés à des profondeurs faibles et rechargés progressivement sur les deux faces en même temps. Il peut parfois être nécessaire d'ajouter des tirants d'ancrage. Le seuil haut doit atteindre la niveau des marées de 85-90 pour permette l'installation des plantes halophytes sur la plate-forme, qui reconstitue ainsi l'étage du schorre.

Avantages / Inconvénients

- Perméabilité qui permet des échanges d'eau avec la berge.
- Intégration paysagère correcte limitée à la partie visible du tunage.
- Intérêt écologique faible sur la partie verticale, accru sur la strate basale (épis) et la strate schorre.
- Très bonne résistance de l'ensemble.
- Bonne durabilité.

- Installation très bien adaptée pour des courants modérés à forts.
- Difficile à reprendre en cas de désordre.
- Coût cumulé de l'enrochement et du piquetage.

4.2.3. Palplanches et béton

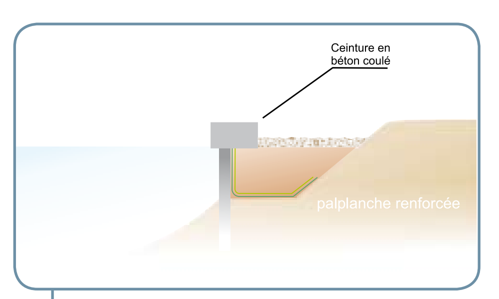


Fig.12. Palplanche avec coffrage béton (Dessin L. Anras, FMA)

Les palplanches couronnées en béton sont normalement utilisées dans les quais ou dans les zones où les risques de fortes pressions existent (à la proximité des routes et des ouvrages). Les caractéristiques principales sont les mêmes qu'avec les palplanches (voir ch. 4.1.5).

Mise en œuvre :

Elle est Identique aux palplanches nues, mais un coffrage de ceinture est réalisé avec du béton armé. La hauteur de tels dispositifs peut atteindre plusieurs mètres. Les conditions de mise en œuvre sont les mêmes que pour les simples rideaux de palplanches.

Coûts :

Il est élevé et dépend des dimensions, poids et matériaux constitutifs des palplanches et caractéristiques du béton.

Avantages / inconvénients :

- Le couronnement en tête permet d'obtenir une plus grande rigidité de l'ouvrage, d'assurer une meilleure répartition des efforts sur l'ouvrage. Il peut également permettre son ancrage en tête par différentes techniques.
- Le couronnement permet d'obtenir une finition esthétique de l'ouvrage.
- Le coût de revient est plus élevé que la technique des simples palplanches.

5 • Conditions de bonne mise en œuvre

> 5.1 Analyse du contexte

5.1.1 Analyse des dégradations

Le préalable indispensable à toute prise de décision est de bien cerner les causes de l'érosion ou de l'altération. **L'observation des désordres constatés et leur activité constituent les fondements de la réflexion.**

L'examen attentif des matériaux sur une construction révèle certaines des causes de son altération. De même, des dégradations invisibles en profondeur nécessitent une étude géophysique. Ce travail vise à faire l'état de lieux de la structure longitudinale et transversale de la berge ou de la digue. En effet, plusieurs siècles de travaux successifs ont apporté des hétérogénéités structurales qu'il convient de cerner. Cela apporte une information capitale sur les adaptations locales à réaliser.

L'altération des constructions provient de :

- la **corrosion** qui altère les aciers et leurs alliages par transformation chimique ou physico-chimique. L'eau a un effet important sur les aciers non inoxydables. Il peut être renforcé par la présence de minéraux, comme dans le cas de l'eau de mer, mais aussi par la présence d'oxygène ; la température joue aussi un rôle important,
- l'**érosion** qui altère les matériaux par déstructuration physique. L'érosion est causée par l'effet direct ou cumulé d'agents qui favorisent le délitement, l'arrachage de particules et la solubilisation,
- de **désordres au niveau de leurs fondations** dont les causes peuvent être diverses,
- de **surcharges** passagères ou chroniques sur les berges.

5.1.2 Analyse de l'environnement du site

Pour élaborer la réponse technique adaptée il est important de considérer :

- La nature géologique du site.
- La nature et l'intensité des facteurs érosifs, sous la dépendance du régime hydrologique de l'étier.
- La charge pondérale à supporter par la berge.
- L'usage de la berge.
- Le rôle de la berge dans le maintien du régime hydrologique d'alimentation des marais (augmentation ou réduction du lit de l'étier).
- Le rôle d'habitat pour les communautés vivantes.
- La qualité paysagère du site.
- La localisation de l'ouvrage et son accessibilité.
- Les conditions possibles de mise en œuvre des travaux (travaux soumis à la marée, possibilité de mise hors d'eau…).

Tous ces critères rentrent en ligne de compte dans la réflexion. Seule une analyse pointue de l'ensemble de ces éléments permettra de dégager les solutions adaptées au site. Elle permet une réponse fiable techniquement et durable dans le strict respect de la préoccupation économique et environnementale.

> **5.2** Choix d'une solution technique

La proposition d'une solution par le maître d'oeuvre repose sur une analyse préalable qui prenne en compte les facteurs coût, faisabilité technique, et incidence sur l'environnement écologique, économique, social et paysager.

Les indications suivantes constituent des cas génériques. Les auteurs proposent d'utiliser les contraintes comme facteur de choix pour des solutions techniques.

L'étude préalable permet de dégager une ou plusieurs solutions génériques ou particulières pour un cas donné.
Ce guide ne saurait en aucun cas présumer de la multitude de cas particulier qui se présentent. Les options d'aménagement sont le fruit d'une méthode de réflexion rigoureuse.

Le tableau suivant propose une vue synthétique des atouts et contraintes de chaque technique. Tout maître d'ouvrage peut s'y référer, mais il convient avant tout de se reposer sur un diagnostic de qualité (réalisé par un cabinet d'étude ou un opérateur compétent). Les notations proposées sont en partie subjectives et n'engagent que la responsabilité des auteurs.

Aménagements	Contraintes										
	Courant			Pente			Elévation			Charge	
	Fort	Moyen	Faible	Fort	Moyen	Faible	Fort	Moyen	Faible	Fort	Faible
Remodelage	Déconseillé	Déconseillé	Compatible	Déconseillé	Déconseillé	Compatible	Compatible	Compatible	Compatible	Compatible	Compatible
Enrochement	Recommandé	Compatible	Déconseillé	Compatible	Compatible	Déconseillé	Compatible	Compatible	Compatible	Recommandé	Compatible
Murs	Recommandé	Compatible	Déconseillé	Recommandé	Compatible	Déconseillé	Compatible	Recommandé	Compatible	Recommandé	Compatible
Gabions	Recommandé	Compatible	Compatible	Recommandé	Recommandé	Déconseillé	Recommandé	Compatible	Compatible	Recommandé	Compatible
Matelas	Recommandé	Recommandé	Compatible	Déconseillé	Compatible	Recommandé	Compatible	Recommandé	Compatible	Recommandé	Recommandé
Palplanches	Recommandé	Compatible	Déconseillé	Recommandé	Déconseillé	Déconseillé	Recommandé	Recommandé	Compatible	Recommandé	Compatible
Pieux	Déconseillé	Compatible	Recommandé	Compatible	Compatible	Recommandé	Déconseillé	Compatible	Recommandé	Compatible	Recommandé
Tunage	Déconseillé	Recommandé	Recommandé	Compatible	Recommandé	Compatible	Déconseillé	Déconseillé	Recommandé	Compatible	Recommandé
Béton	Recommandé	Compatible	Compatible	Recommandé	Déconseillé	Déconseillé	Compatible	Recommandé	Déconseillé	Recommandé	Compatible
Pieux géomembranes	Déconseillé	Compatible	Recommandé	Compatible	Compatible	Recommandé	Déconseillé	Compatible	Recommandé	Déconseillé	Recommandé

Tab. 2 : Contraintes liées à la mise en œuvre des aménagement de confortement et de restauration de berges en étiers de marais salés (L. Anras - FMA, C. Chastaing - Unima).

Légende

Recommandé	Compatible	Déconseillé
(vert)	(jaune)	(orange)

> 5.3 Choix des matériaux

Métaux : Les métaux doivent être autant que possible résistants à la corrosion. Les palplanches sont le plus souvent galvanisées ou revêtues de plusieurs couches de peintures époxydes. Il en est de même pour les géogrilles et grillages mis en œuvre dans les systèmes de gabions et matelas, ainsi que pour les systèmes pieux/géogrille/géotextile.

Il convient aussi d'être vigilant dans l'emploi de tous les systèmes d'accroches, tels de visseries, tendeurs et câblages qui doivent être en matériaux inoxydables.

Dans le cas d'ouvrages comprenant de larges pièces métalliques exposées à une corrosion accélérée, c'est à dire en zone de marnage, il est recommandé de prévoir la pose d'anodes en zinc ou en magnésium, telles que celles apposées sur les coques de bateau métalliques. C'est cette anode qui concentrera sur elle les processus électrolytiques, en les détournant de l'ouvrage situé à proximité immédiate. Afin de se prémunir contre les vols et dégradation, il conviendra de le poser dans un emplacement discret ou protégé de la vue.




L'anode pourra être changée au rythme de son usure, qui est fonction de sa taille et du potentiel électrolytique du milieu et des métaux en présence (de quelques mois à quelques années).

Il est important de penser à ce type d'accessoires dans le budget d'entretien.

Bois : En zones humides, il est préférable de faire appel à des bois denses et peu sensibles aux attaques des organismes xylophages et des champignons. Ce sont les parties situées dans la zone de balancement des marées qui s'altèrent le plus rapidement. Les parties fichées dans les sols vaseux ont une excellente longévité, grâce à l'action extrêmement ralentie des processus de dégradation dans les vases.

Les bois employés sont :

- le sapin ou le pin. C'est un bois économique parce qu'abondant sur les côtes, mais à faible longévité (5 à 10 ans pour une pièce de 15 cm de diamètre, en immersion/émersion en eau salée),
- le chêne, bois dur, mais cher qui dispose d'une excellente longévité (15 à 30 ans, en immersion/émersion en eau salée),
- le châtaigner, bois dur comportant naturellement des répulsifs contre les lithophages et les moisissures. Bois cher à bonne longévité (15 à 30 ans, en immersion/émersion en eau salée),
- le saule, Le frêne : bois résistant à l'humidité, mais ne produisant que des branchages et troncs courts. Bois modérément cher, mais durable (3 à 15 ans, en immersion/émersion en eau salée). Ces bois sont plutôt utilisés dans le génie végétal en eaux douces, grâce à leur faculté de reprise.

Roches : Il existe peu de préconisations relatives aux matériels rocheux à employer en marais salés. Dans la plupart des cas les matériaux employés dépendent de la carrière la plus proche.

Les granites et les basaltes présentent la meilleure résistance dans le temps. Ils sont peu sensibles aux facteurs climatiques et aux attaques physiques et chimiques. Les calcaires et marnes sont plus fragiles. Ils sont poreux, présentent une solubilité non négligeable, et s'expose ainsi à des risques de fissuration face au gel et aux changements de températures brusques. Mais ces contraintes sont réduites dans la frange côtière du territoire français. Toutefois, il est courant d'effectuer un stockage à l'air libre pendant un minimum de six à huit mois après extraction de carrière. Cela permet de sélectionner les blocs qui ne présentent pas de fissurations suite aux rigueurs de l'hiver.




Remblais, cailloutis : Les matériaux le plus souvent employés sont ceux trouvés sur place. Ce sont généralement des substrats argileux ou sableux avec plus ou moins de matière organique.

Le choix des matériaux de remblais est fonction du rôle que celui-ci doit remplir :

- forte porosité, faible poinçonnement, faible compressibilité : sables,
- porosité moyenne : sol terreux, sables et argiles mélangés,
- porosité faible, poinçonnement possible : argiles.

L'appréciation des caractéristiques géophysiques des matériaux permet à l'opérateur de réaliser le choix des remblais adaptés en fonction de la résistance, porosité et plasticité requise.

De la bonne réalisation de cette étape dépend la stabilité de l'ouvrage qui sera réalisé. On recherchera le plus souvent lorsque cela est possible, pour des raisons économiques, une technique autorisant la réutilisation des matériaux du site.

> 5.4. Recherche d'un opérateur compétent

Si le choix de l'entreprise de travaux est traditionnellement assujetti à un appel d'offre il n'en est pas toujours de même du maître d'œuvre. Les auteurs recommandent vivement aux maîtres d'ouvrages de mandater un maître d'oeuvre reconnu et compétent.

Le choix du maître d'oeuvre est primordial : c'est lui qui va bâtir le projet et proposer une solution technique adaptée à la situation rencontrée ; il va également analyser d'un œil critique les propositions des entreprises, et assurer la **surveillance du chantier à chacun de ses stades.** Il est important qu'il puisse valider chaque phase sur le terrain. C'est la garantie de conformité au cahier des charges et celle de la satisfaction des objectifs.

> 5.5. Suivi de l'évolution dans le temps de l'infrastructure

A la suite d'une restauration ou d'opérations d'entretien, le milieu présente un aspect « neuf ». Le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre effectue la réception des travaux à ce stade. Ils peuvent aussi éventuellement formuler des réserves sur la conformité des opérations. Toutefois, les effets attendus en matière d'environnement paysager et écologiques (qui peuvent être des objectifs primaires ou secondaires) sont plus longs à se manifester que les résultats en hydraulique et géophysique.

Il peut donc être intéressant pour le maître d'ouvrage d'effectuer un suivi photographique et de réaliser des constats visuels annuels ou saisonniers. Ils permettront ensuite de mettre en œuvre l'entretien pour maintenir l'aspect visuel attendu.



Les fonctionnalités écologiques à l'échelle de l'emprise des travaux demeurent quant à elles plus délicates à établir, sans l'intervention de naturalistes.

Le vieillissement de l'installation s'effectue inexorablement. Il sera donc intéressant aussi d'évaluer visuellement l'usure et le rythme d'entretien à réaliser. Ces éléments de surveillance devraient permettre de planifier les grandes étapes de la vie de l'ouvrage, hors cas accidentels (tempêtes) ou malfaçons.

>CALENDRIER DE L'ENTRETIEN DE L'ÉTIER

Lit : Dévasage, travaux de réfection, travaux d'installation : début d'automne et fin d'hiver.
Ces périodes sont les moins contraignantes par rapport aux activités conchylicoles

Berges : Aucun entretien nécessaire en partie haute, sauf passage.

>CYCLES BIOLOGIQUES

Migration des juvéniles : anguilles : hiver
bar, daurades : avril-juin

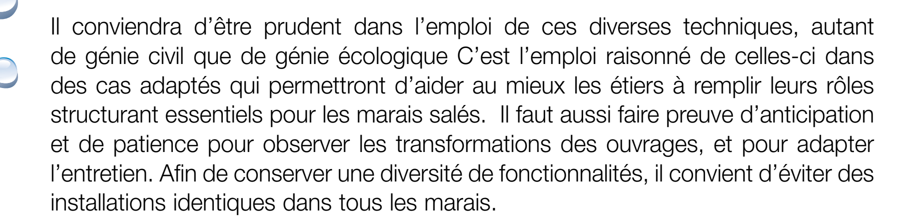
Ensemencement du schorre : février - mai

Ensemencement larvaire : continu, très intense du printemps à l'automne

6 • Conclusion générale

Ce guide a vocation à éclairer les choix des maîtres d'ouvrages. Il apporte des éléments clairs et objectifs mais ne prétend pas répondre à l'ensemble des problématiques sous forme de recettes transposables partout. Il convient de l'utiliser de manière réfléchie et d'appuyer sa démarche sur une maîtrise d'oeuvre compétente.

Les étiers se trouvent à la croisée entre des techniques de génie lourdes telles qu'employées en fronts de mer et de techniques plus écologiques employées en rivières. Le génie végétal n'est pas transposable pour des raisons édaphiques propres à ces milieux, mais il est possible d'appliquer des méthodes où les infrastructures s'intègrent au mieux dans le paysage.



Il conviendra d'être prudent dans l'emploi de ces diverses techniques, autant de génie civil que de génie écologique C'est l'emploi raisonné de celles-ci dans des cas adaptés qui permettront d'aider au mieux les étiers à remplir leurs rôles structurant essentiels pour les marais salés. Il faut aussi faire preuve d'anticipation et de patience pour observer les transformations des ouvrages, et pour adapter l'entretien. Afin de conserver une diversité de fonctionnalités, il convient d'éviter des installations identiques dans tous les marais.

Remerciements

Le Forum des Marais Atlantiques tient particulièrement à remercier pour leur aimable collaboration et l'accueil réservé aux auteurs de cet ouvrage, les personnes suivantes :

- **Olivier Allenou**, Conservatoire Régional d'Espaces Naturels de Poitou-Charentes
- **Karine Bouleau**, Syndicat Mixte de Défense contre la Mer du Littoral Continental de la Baie de Bourgneuf
- **Sylvie Fonteny,** Direction Départementale de l'Equipement de Charente-Maritime
- **Sébastien Lavigne,** Syndicat intercommunal des bassins versants de l'Engranne et de la Gamage
- **Xavier Métay,** Conservatoire Régional des Rives de la Loire et de ses Affluents
- **Stéphanie Mercier**, Unima
- **Julien Renard,** Syndicat mixte d'aménagement des marais de Noirmoutier
- **François-Xavier Robin,** Unima